

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева»**



На правах рукописи

Со Вин Мьинт

**Основы термического рециклинга растительных отходов Мьянмы в
углеродные адсорбенты**

2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
д.т.н., профессор
Клушин Виталий Николаевич

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
Актуальность работы.	9
Степень разработанности темы.	11
Цель работы	11
Задачи исследования:	11
Объекты исследований	12
Предмет исследований.....	12
Методология и методы исследований.....	13
Научная новизна.	13
Теоретическая и практическая значимость.	14
Достоверность полученных результатов.	15
Личный вклад автора.	16
Основные положения, выносимые на защиту:.....	18
ГЛАВА 1. РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ МЬЯНЫ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ АДСОРБЕНТОВ	19
1.1. Растительная продукция в экономике Мьянмы	19
1.1.1. Общая характеристика лесной флоры	19
1.1.2. Деловая древесина	22
1.1.3. Внутреннее потребление и экспорт	27
1.1.4. Государственная лесная политика	30
1.2. Некоторые виды сельскохозяйственных культур технической, пищевой и декоративной ориентации	31
1.2.1. Возделывание хлопчатника	31
1.2.2. Выращивание риса	34
1.2.3. Культивирование фруктовых деревьев.....	35

1.2.4. Цветоводство	38
1.3. Состояние утилизации растительных отходов в Мьянме	42
1.4. Природоохранные проблемы современной Мьянмы	46
1.5. Углеродные адсорбенты как средства очистки и обезвреживания производственных выбросов и сбросов	49
1.5.1. Общие сведения об углеродных адсорбентах.....	49
1.5.2. Сырье и технологии промышленного производства углеродных адсорбентов.....	52
1.5.3. Объёмы производства и мировой рынок активных углей.....	57
1.5.4. Приёмы утилизации растительных отходов с целью получения углеродных адсорбентов и показатели их эффективности	59
1.5.5. Аспекты обоснования целесообразности исследования выбранных отходов в качестве сырья для получения углеродных адсорбентов	74
1.5.6. Основы описания и презентация экспериментальных результатов углеадсорбционной очистки производственных сбросов и выбросов.....	80
1.6. Выводы	84
1.7. Задачи исследования.....	85
ГЛАВА 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ОТХОДАХ, ДАННЫХ ИХ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ И АНАЛИТИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ	87
2.1. Номенклатура отходов	87
2.2. Происхождение отходов, их характеристика и итоги термографических исследований	87
2.2.1. Источники отходов	87
2.2.2. Элементный состав отходов	95
2.2.3. Итоги термографии отходов	100
2.3. Экспериментальное оборудование и методики	103
2.3.1. Подготовка сырья к переработке и его карбонизация	103
2.3.2. Активация карбонизата водяным паром	105
2.3.4. Контакт и разделение фаз при изучении выщелачивания в воде углеродных адсорбентов и эффективности их использования при очистке сточных вод	107

2.3.5. Исследование процессов насыщения полученных адсорбентов парами органического растворителя	108
2.4. Аналитические определения	109
2.4.1. Приёмы и методики оценки пористой структуры	109
2.4.2. Газохроматографическое определение общего органического углерода в сточных водах.....	110
2.4.3. Определение содержания влаги	112
2.4.4. Определение сухого и прокалённого остатков	113
2.4.5. Определение зольности	113
2.4.6. Определение насыпной плотности.....	113
2.4.7. Определение прочности при истирании.....	113
2.5. Особенности оценки результатов выполненных измерений и их достоверность	114
2.6. Сопоставительный анализ исследованных отходов как сырья для получения углеродных адсорбентов.....	114
ГЛАВА 3. РАЦИОНАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПИРОЛИЗА ОТХОДОВ, АКТИВАЦИИ ЕГО КАРБЕНИЗИРОВАННЫХ ОСТАТКОВ ВОДЯНЫМ ПАРОМ И НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛУЧЕННЫХ ПРОДУКТОВ	124
3.1. Результаты установления рациональных условий пиролиза отходов, выходов продуктов, структурно-адсорбционных свойств и технических показателей науглероженных остатков	125
3.1.1. К обоснованию параметров, управляющих пиролизом отходов	125
3.1.2. Выход и технические характеристики целевых продуктов пиролиза.....	126
3.1.3. Показатели низкотемпературной адсорбции азота целевыми продуктами пиролиза отходов	135
3.1.4. Побочные продукты пиролиза отходов	139
3.2. Исследование жидкофазного обеззоливания продукта пиролиза смеси фрагментов букетов роз	147
3.3. Результаты выявления рациональных условий активации водяным паром карбенизированных остатков пиролиза отходов, выхода продуктов, структурно-адсорбционных свойств и технических показателей активных углей	153

3.3.1. К обоснованию рациональных условий активации водяным паром целевых продуктов пиролиза отходов	157
3.3.2. Выход и технические характеристики активных углей.....	158
3.3.3. Показатели низкотемпературной адсорбции азота активными углями	166
3.3.4. Побочные продукты активации водяным паром полученных карбонизатов	171
3.4. Выщелачивание в дистиллированной воде полученных углеродных адсорбентов	173
3.5. К оценке ионообменной способности активных углей паровой активации	175
3.6. К обоснованию практического использования полученных активных углей в решении природоохранных задач	176
ГЛАВА 4. Сведения об эксплуатационных свойствах углеродных адсорбентов, полученных активацией водяным паром, иных возможностях получения углеродных адсорбентов из использованных отходов и некоторых аспектах организации производства активных углей на основе последних	181
4.1. Обработка жидких сред	181
4.1.1. Очистка стоков АО «Москокс»	181
4.1.2. Фиксация плавающих нефтепродуктов	185
4.2. Обработка паровоздушных потоков	191
4.2.1. Кинетика поглощения активными углями паровой активации паров н-бутанола из их смесей с воздухом.....	191
4.2.2. Равновесие поглощения активными углями паровой активации паров н-бутанола из их смесей с воздухом.....	194
4.3. Эффективность активных углей, полученных паровой активацией, в решении специфичных задач	197
4.3.1. Получение углерод-минеральных адсорбентов с высокой активностью по йоду и красителю метиленовому голубому	197
4.3.2. Совершенствование улавливания паров метанола из табачного дыма.....	201
4.3.3. Осветление растворов желатина	202
4.3.4. Глубокая очистка воды от фенола	204
4.3.5. Очистка почвы от остатков гербицидов	205
4.3.6. Новый носитель для перорального дозирования бифидобактерий	207

4.4. Некоторые возможности получения других углеродных адсорбентов из использованных отходов	209
4.4.1. Переработка рисовой шелухи с получением ряда товарных продуктов...	209
4.4.2. Модифицирование активного угля паровой активации на базе древесины железного дерева.....	212
4.4.3. Переработка путём химической активации оболочек семян манго	214
4.4.4. К оценке целесообразности химической активации скорлупы косточек сливы	216
4.5. Техничко-экономическое обоснование разработанных технологий	217
4.5.1. Предпосылки организации производства.....	217
4.5.2. Особенности предполагаемой реализации разработанной технологии	218
4.5.3. Техничко-экономическое обоснование периодического процесса переработки фрагментов кожуры плодов тамаринда на активные угли.....	222
4.5.4. Оценка объёмов перерабатываемых материалов и основного оборудования	222
4.5.5. Оценка перерабатываемых жидко- и газофазных потоков и объёмов связанного с ними оборудования	225
Выводы	242
Список использования источников информации	245
Приложение П.1. Термограммы использованных растительных отходов и их карбонизатов, полученных в рациональных условиях пиролиза	303
.....	303
Приложение П.2. Характеристики поверхности фрагментов использованных отходов в данной работе, их карбонизатов и активных углей.	310
Приложение П.3. Влияние параметры на пиролиз использованных отходов для получения их карбонизатов.....	318
П 3.1. К пиролизу СКО	318
П.3.2. К пиролизу скорлупы косточек сливы (СКС)	320
П.3.3. К пиролизу отходов рисового шелуха (РШ)	322
П.3.4. Исследование пиролиза отходов коржуры плодов тамаринда (КПТ)	324

П.3.5. Исследование пиролиза отходов оболочек семян манго (ОСМ)	325
П.3.6. К пиролизу отходов железного дерева (ЖД)	327
П.3.7. Исследование пиролиза отходов гуза пай (ГП)	328
П.3.8. К пиролизу отходов букетов роз (БР)	329
Приложение П.4. К активации полученных карбонизатов	331
П.4.1. Обоснование рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из скорлупы кокосовых орехов (СКО) водяным паром	331
П.4.2. Обоснование рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из скорлупы косточек сливы (СКС) водяным паром	333
П.4.3. Обоснование рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из оболочек семян манго (ОСМ) водяным паром	335
П.4.4. Обоснование рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из кожуры плодов тамаринда (КПТ) водяным паром	337
П.4.5. Обоснование рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из рисового шелуха (РШ) водяным паром	339
П.4.6. Установление рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из железного дерева (ЖД) водяным паром	341
П.4.7. Исследование рациональных условий активации карбонизата гуза-пай (ГП) водяным паром	343
П.4.8. Исследование рациональных условий активации карбонизата букетов роз (БР) водяным паром	344
Приложение П.5. Данные по низкотемпературной адсорбции азота полученными углеродными адсорбентами	346
П.5.1. Изотермы низкотемпературной адсорбции азота карбонизированными продуктами пиролиза отходов	346
П.5.2. Характер распределения объемов пор карбонизатов по диаметрам	350
П.5.3. Изотермы низкотемпературной адсорбции азота активными углями	353
П.5.4. Распределение объёма пор активных углей по диаметрам	356
Приложение П.6.....	360
Приложение П.7.....	362
Приложение П.8.....	363

Приложение П.9.....	367
Приложение П.10.....	369
Приложение П.11.....	370
Приложение П.12.....	371

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Основным мотивом к выполнению исследований явились государственные нужды Мьянмы, отражённые в ряде документов:

- Национальная политика Мьянмы в области охраны окружающей среды (1994 г)
- Закон о развитии науки и техники (1994 г)
- Национальная стратегия устойчивого развития Мьянмы (НСУР) (2009 г)
- Закон об охране окружающей среды (ECL) (2012 г)
- Национальное руководство по качеству окружающей среды (выбросам) (NEQE) (2015 г)
- Национальная стратегия и генеральный план управления отходами Мьянмы (2018-2030 годы)

в научном обосновании возможности и целесообразности реализации собственных производств углеродных адсорбентов на базе отечественного возобновляемого сырья в виде крупнотоннажных растительных отходов.

Постоянно растущие во всех странах производство и потребление сопровождается, несмотря на реализуемые в разной степени меры экологического плана, увеличение масштабов антропогенного поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, вызывая ряд известных негативных последствий. Их совокупность обуславливает, по мнению ведущих специалистов в области производства и использования активных углей Кельцева Н.В., В.М. Мухина, [1, 2], уже в настоящее время ущерб человечеству, сопоставимый с последствиями использования средств массового уничтожения. Среди загрязняющих веществ, содержащихся в названном поступлении, наиболее опасными полагают таковые органической природы, что связывают с большей лёгкостью их проникновения в живые организмы с риском не только возникновения типичных временных расстройств последних, но и развития многих болезней и патологий вплоть до летальных исходов.

С целью минимизации названного негативного воздействия практикуют обработку вредных выбросов и сбросов различными приёмами. Среди них наиболее

глубокое извлечение токсичных компонентов обеспечивает углеадсорбционная обработка, обычно являющаяся завершающей стадией очистки. На мировых рынках активные угли – основные агенты этой технологии представлены сравнительно дорогостоящими материалами. Это обстоятельство представляет весьма существенное препятствие для широкого использования этих адсорбентов особенно в таких развивающихся странах, как Мьянма, не располагающих собственными производствами подобной продукции, побуждая интерес к возможной их организации на базе имеющихся собственных ресурсов.

Многие современные источники информации указывают на интенсивные поиски решений такой направленности, основанных на выявлении возможности и эффективности получения углеродных адсорбентов с применением крупнотоннажных мало или нецелесообразно используемых (и потому весьма доступных и дешёвых) местных сырьевых ресурсов в виде, в частности, растительных отходов агропромышленных, деревоперерабатывающих и пищевых производств. Стоимость подобных отходов, по существу, определяемая затратами на их доставку внутри страны, весьма низка.

Наряду с этим опубликованные эксплуатационные свойства углеродных адсорбентов, полученных на базе ряда представителей названных отходов, и в разной степени обоснованные достаточно высоки, как свидетельствуют, в частности, цитируемые далее источники [3-24]. Эти обстоятельства являются (с учётом известного факта влияния вида и состава сырья на качество получаемых адсорбентов) серьёзными аргументами и побудительным мотивом целесообразности выполнения исследований данной ориентации применительно к наиболее крупнотоннажным отходам предприятий и производств Мьянмы в виде рисовой шелухи (РШ), скорлупы кокосовых орехов (СКО), полевых остатков выращивания хлопчатника - стеблей и корневищ растений - гуза-паи (ГП), кожуры плодов тамаринда (КПТ), древесины бирманского железного дерева (ЖД), вышедших из употребления букетов роз (БР), оболочек семян манго (ОСМ) и скорлупы косточек сливы (СКС).

Степень разработанности темы. Анализом доступных источников научно-технической информации выявлены лишь некоторые данные о получении активных углей из отходов, схожих по природе с отходами, использованными в настоящей работе. Аналогичная информация относительно этих отходов предприятий и производств Мьянмы за единичными исключениями практически отсутствует. Вместе с тем достаточно широко и подробно освещены вопросы переработки на углеродные адсорбенты широкого круга отходов лесосечных и перерабатывающих древесину производств, возделывания ряда сельскохозяйственных технических, кормовых и пищевых культур наряду с таковыми переработки и использования их урожая, что также указывает на актуальность решения имеющихся в Мьянме проблем их рационального использования.

Цель работы – Научное обоснование целесообразности и эффективности использования названных крупнотоннажных растительных отходов предприятий и производств Мьянмы для получения углеродных адсорбентов, включая активные угли, путем систематического изучения поставленных образцов с установлением: их принципиальной сырьевой пригодности; рациональных условий реализации ключевых операций термической переработки названных отходов (пиролиза сырья и активации его карбонизированных продуктов водяным паром) в рамках технологии парогазового активирования - наиболее доступной к реализации в условиях этого государства; выхода, технических, структурно-адсорбционных и прикладных поглотительных свойств целевых продуктов.

Задачи исследования:

- Аналитический обзор доступных источников информации с исследованием актуального состояния проблем термической переработки крупнотоннажных растительных отходов предприятий и производств Мьянмы с целью получения углеродных адсорбентов и их применения для решения задач защиты окружающей среды от антропогенного загрязнения.

- Оценка целесообразности применения использованных отходов для названной цели путём проведения термографических, физико-химических, термических и химических исследований.
- Определение рациональных условий пиролиза сырья и активации его целевых продуктов водяным паром, как ключевых термических процессов реализации доступной в условиях Мьянмы технологии, с оценкой выходов и структурно-адсорбционных характеристик получаемых продуктов (карбонизатов и активатов), составлением материальных балансов для обоих термических процессов, установлением состава побочных продуктов и возможных направлений их использования.
- Выявление сопоставительной эффективности использования полученных углеродных адсорбентов в решении природоохранных и смежных задач.
- Определение целесообразности переработки в активные угли отдельных видов использованного сырья иными приёмами.
- Обоснование принципиальных технологических схем производства углеродных адсорбентов согласно разработанным технологиям и их аппаратного оформления.
- Ориентировочная технико-экономическая оценка производства в условиях Мьянмы углеродных адсорбентов с использованием исследованных растительных отходов в качестве сырьевой базы.

Объекты исследований – представительные партии отходов растительного сырья Мьянмы, пиролизованные и активированные целевые адсорбенты и побочные продукты, образцы производственных сточных вод, модели, имитирующие реальные загрязнённые экосистемы, а также ряд специализированных сред для углеадсорбционной очистки.

Предмет исследований – обоснование оптимальных режимных параметров процессов пиролиза растительных отходов и активации карбонизированных продуктов водяным паром, приводящих к достижению сбалансированного сочетания выхода и структурно-адсорбционных характеристик целевых продуктов. Исследование включает также оценку эффективности использования полученных

продуктов в решении задач охраны окружающей среды и смежных областях, а также разработку основ технологий производства активированных углей.

Методология и методы исследований. Данные выполненных исследований получены с использованием как кафедрального оборудования (специализированных экспериментальных установок, дериватографа, хроматографа, катетометра и т.п.), так и парка приборов центра коллективного пользования университета и в ряде случаев такового сторонних организаций. Экспериментальные исследования в основном базированы на использовании аналитических методик, соответствующих государственным стандартам РФ.

Научная новизна. В работе впервые:

- систематическими исследованиями сырья и продуктов его деструкции научно обоснована принципиальная возможность термической переработки большинства использованных в работе крупнотоннажных растительных отходов Мьянмы на активные угли, конкурентоспособные в решении задач охраны окружающей среды и здоровья человека, что потенциально обеспечивает существенный вклад в экономику государства и номенклатуру этих адсорбентов на мировом рынке;
- совокупностью термографических, физико-химических и химических исследований расширен круг научных знаний об использованных отходах путём выявления ансамбля свойств, свидетельствующих о принципиальной возможности и перспективности изучения рациональных условий термической переработки этих материалов на углеродные адсорбенты;
- ансамблем полученных результатов научно обоснованы принципы получения активных углей достаточно высокого качества из отходов растительного сырья Мьянмы, не находящихся квалифицированного применения;
- обоснованы условия получения из рисовой шелухи товарных продуктов высокой чистоты (жидкого стекла и диоксида кремния) и активных углей повышенного качества путём активации с ZnCl_2 углеродной части карбонизированного продукта пиролиза этих отходов, а также возможность изменения ионообменных свойств

активного угля на базе древесины железного дерева путём его пропитки тиомочевинной и пиролиза результирующего её импрегната;

- установлены кинетические закономерности интенсивного контакта мелких фракций полученных целевых продуктов с образцами многокомпонентных стоков с территории коксохимического производства АО «Москокс» и их взаимодействия с плавающими плёнками дизельного топлива, свидетельствующие о высокой эффективности использования их большинства для удаления органических примесей и принципиальной пригодности для фиксации разливов нефтепродуктов;
- оценены кинетические и равновесные закономерности извлечения зёрнами полученных активных углей паров летучих органических растворителей (на примере н-бутанола) из потоков их смесей с воздухом (ПВС), указывающие на целесообразность использования ряда из них для предварительной обработки ПВС повышенных концентраций;

Теоретическая и практическая значимость. В работе впервые:

- выявлена важность и значимость использованных при исследованиях крупнотоннажных растительных отходов Мьянмы как сырьевых резервов для производства углеродных адсорбентов (п. 8 и 9 области исследований);
- определён характер влияния названных отходов на режимные параметры операций их пиролиза и активации водяным паром его науглероженных продуктов (п. 9 и 10 области исследований);
- обоснованы целесообразные условия реализации обоих термических переделов, обеспечивающие рациональные сочетания выхода и структурно-адсорбционных свойств получаемых углеродных адсорбентов (п. 8 и 9 области исследований);
- охарактеризованы тестированные показатели технических характеристик, пористой структуры и поглонительных свойств полученных углеродных адсорбентов, совокупность которых наряду с результатами прикладного использования указывает на их очевидную конкурентоспособность, универсальность и даже уникальность использования в решении ряда практически важных задач охраны окружающей среды и здоровья населения (п. 12 области исследований);

- сопоставлением значений интенсивности нагрева сырья и полученных из него карбонизированных материалов, как одного из значимых факторов, определяющих выход, показатели и свойства целевых продуктов операций пиролиза и активации его карбонизаторов водяным паром, общих четких количественных закономерностей не фиксировано.
- Полученные адсорбенты испытаны на образцах промышленных стоков АО «Москокс», продемонстрировав высокую эффективность их очистки от органических загрязняющих веществ. Фармацевтическое предприятие (МРЕ) министерства промышленности департамента здравоохранения правительства Республики Союз Мьянма планирует использовать эти и другие результаты диссертационной работы, касающиеся, прежде всего профиля его основной деятельности, в виде интегрирования в собственные проекты путем апробации в соответствующих исследовательских процессах, о чем свидетельствует письмо-обращение в адрес РХТУ им. Д.И. Менделеева.
- для полученных на базе использованного сырья активных углей паровой активации осуществлена ориентировочная технико-экономическая оценка себестоимости их производства, результаты которой свидетельствуют о принципиальной возможности и целесообразности реализации в условиях Мьянмы разработанных технологий, способных обеспечить своей продукцией национальные потребности (прежде всего в области очистки и обезвреживания жидкофазных сред и потоков) и расширить номенклатуру активных углей на мировых рынках;
- оригинальность и техническая новизна ряда предложенных в работе технологических решений защищена патентами РФ.

Достоверность полученных результатов. Среднее квадратичное (среднеквадратическое) отклонение σ экспериментальных результатов текущих параллельных лабораторных определений, связанных с установлением технических показателей и структурно-адсорбционных свойств перерабатываемых материалов, а также выхода получаемых продуктов, характеризуют следующие данные: $\sigma = 0,1936-0,2063$ при определении объёмов сорбирующих пор по парам воды, $\sigma = 0,3464-0,4817$

для паров CCl_4 , $\sigma = 0,3279\text{--}0,3960$ для паров C_6H_6 и $\sigma = 0,1\text{--}0,4359$ $\text{см}^3/\text{г}$ для показателя суммарной пористости; для величин поглощения йода и красителя метиленового голубого $\sigma = 0,6325\text{--}1,9494$ % и $2,7432\text{--}5,1502$ мг/г , соответственно; при установлении значений выхода продуктов величина σ составляла $0,7583\text{--}2,5544$ %; при определении прочности при истирании, влажности и зольности твёрдых материалов показатель σ находился в пределах $0,4743\text{--}1,1292$, $0,3873\text{--}0,7071$ и $0,2236\text{--}0,5916$ %, соответственно. Существенные различия в определённых величинах сопряжены с небольшими массами навесок, использованных для определений, формой и размерами их зёрен, не исключаемым внедрением в последние продуктов коррозии металлических реакторов пиролиза и активации, потерями рабочих жидкостей вследствие адгезии к стенкам ёмкостей и тому подобными обстоятельствами. Сторонние определения выполнены с использованием сертифицированного оборудования.

Личный вклад автора. Идея ориентации исследования принадлежит лично автору, а его основные направления и способы их обеспечения обсуждены с научным консультантом. Автор самостоятельно разработал необходимые лабораторные установки и выполнил значительный объем разнообразных экспериментальных исследований, участвуя в них напрямую. Полученные результаты систематизированы, обсуждены и обработаны. Итоги этих исследований представлены научному сообществу через участие в конференциях различного уровня и посредством подготовки научных статей, опубликованных в соавторстве в специализированных изданиях.

Апробация работы. Наиболее значимые результаты и основные положения выполненного исследования доложены и обсуждены на всероссийских и международных форумах и конференциях: III и IV Всероссийских научных конференциях «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов» (2018 и 2019 гг., г. Иваново); Международных конференциях молодых учёных по химии и химической технологии (2017, 2021, 2023 гг., г. Москва); Международных конференциях «Химическая технология

функциональных наноматериалов» (2017 и 2022 гг., г. Москва); IX Всероссийской конференции, посвящённой 55-летию Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова (2022 г., г. Чебоксары); IV Международной научно-практической конференции «Научные исследования: теория, методика и практика», ФГБОУ ВО «ТГТУ» (г. Тамбов, 2021 г.); VI Международной научной конференции «Теория и практика процессов химической технологии» (УГНТУ, 2021 г., г. Уфа); V Всероссийской научной конференции с международным участием «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов» (2021 г., г. Иваново – Серебряный Плёс); Всероссийской студенческой конференции с международным участием «Геоэкология: теория и практика» (РУДН, 2021 г., г. Москва); Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы и Инновационные Решения в Химической Технологии ПИРХТ-2022» (2022 г., г. Воронеж); IV Всероссийской научно-практической конференции «Технологии переработки отходов с получением новой продукции» (2022 г., г. Киров); Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы науки. Химия, химическая технология и экология» (2022 г., г. Новомосковск); International Russian Conference on Ecology and Environmental Engineering (RusEcoCon) (2022 и 2023 гг., г. Сочи); XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экология родного края: проблемы и пути их решения» Вятского государственного университета (2023 г., г. Киров); VII Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов» (2023 г., г. Иваново – Суздаль); II Всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов «Современные достижения молодых учёных в биологии, медицине и ветеринарии» (г. Астрахань, 2023 г.); Международных научно-практических конференциях «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность» (2019 - 2023 гг., г. Севастополь).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 55 печатных работ, в том числе 1 статья в рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК, 10 статей в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus, Georeff, Chemical

Abstracts и WoS, 1 монография, переизданная в Мьянме на английском языке, и 5 патентов РФ на изобретения.

Основные положения, выносимые на защиту:

- основной повод к проведению работы - идея трансформации практически не утилизируемых крупнотоннажных растительных отходов предприятий и производств Мьянмы в продукты с высокой добавленной стоимостью в виде углеродных адсорбентов различной физической формы;
- результаты физико-химических, термогравиметрических и химических исследований сырья, ориентированные на обоснование целесообразности и условий его использования с целью получения углеродных адсорбентов;
- способы, последовательность и условия термического воздействия на перерабатываемые материалы при пиролизе сырья и активации его науглероженных продуктов водяным паром;
- экспериментально обоснованные условия и закономерности реализации процессов пиролиза сырья, и активации водяным паром его карбонизированных остатков, обеспечивающие рациональное сочетание выхода и структурно-адсорбционных свойств целевых продуктов;
- технические, структурные и поглотительные свойства полученных целевых продуктов, характеризующие, в частности, отдельные из них в качестве уникальных адсорбентов;
- сравнительные оценки эффективности использования полученных адсорбентов в процессах очистки производственных стоков от органических примесей, фиксации плёночных разливов на водной поверхности дизельного топлива, извлечения паров летучих органических растворителей из их смесей с воздухом;
- итоги примерной оценки себестоимости производства полученных активных углей в условиях Мьянмы.

ГЛАВА 1. РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ МЬЯНМЫ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ АДСОРБЕНТОВ

Изучаемая тема предполагает анализ потенциала наиболее крупнотоннажных возобновляемых растительных отходов производств Республики Союз Мьянма (видов, состава, источников и объемов образования), как возможного сырья для производства углеродных адсорбентов, состояния использования этого сырья и наиболее значимых природоохранных проблем государства в области охраны окружающей среды, требующих для их решения применения названных поглотителей, наряду с рядом опубликованных сведений об углеродных адсорбентах, получаемых из подобного сырья, способах и условиях их производства, технических показателях и эксплуатационных свойствах, а также основ обработки результатов адсорбционных измерений.

1.1. Растительная продукция в экономике Мьянмы

Мьянма - страна с очень богатым и разнообразным растительным миром, включающим обширные лесные массивы с многочисленными и часто весьма ценными породами деревьев, плантации с выращиваемыми на них кокосовыми пальмами, отдельными видами других уникальных деревьев, техническими и различными фруктовыми и иными пищевыми культурами, цветами зачастую редких видов. Их возделывание, переработку урожая и использование сопровождается образованием многочисленных и весьма масштабных растительных отходов, в должной мере обычно не находящихся достойной утилизации.

1.1.1. Общая характеристика лесной флоры

Наиболее массовые представители растительного мира Мьянмы - леса покрывают по разным данным от 48 до 60 % её территории, находясь в основном в горных труднодоступных и малозаселённых районах. На центральной равнине страны леса почти повсеместно истреблены, а бывшие места их расположения заняты сельскохозяйственными угодьями или вторичной полупустынной растительностью

(исключения составляют горные участки, образующие междуречья). Лесная флора насчитывает около 7 тысяч видов, включая свыше тысячи эндемичных. Произрастает около 1350 видов деревьев, 100 видов бамбука и 840 видов орхидей [25].

Вечнозелёные леса Мьянмы делятся на переувлажнённые (дождевые) и типичные. Переувлажнённые леса распространены на юго-востоке страны в области Tanintharyi (Танинтайи) и на её юго-западе в прибрежных районах Rakhine (Ракхайна), где количество осадков превышает 3000 мм. Это двух-, реже трёхъярусные высокоствольные леса, увитые лианами и эпифитами, в том числе лазающими пальмами, ротангами, орхидеями. В этих лесах наиболее типичны такие ценные древесные породы, как KaNyin (каньин), ThinGan (тинган), Thitkha (титка), TaungThayat (таунг-тайет) и другие, представлены несколько десятков видов бамбука. Растут также пальмы (арековая, сахарная, кокосовая), фикусы, панданусы (Пандан или Панданус от латинского Pandanus) - древовидные растения семейства Пандановые (от латинского Pandanaceae) около 750 видов, встречающиеся главным образом в тропиках Восточного полушария, на Мадагаскаре их около 90 видов [26].

Типичные вечнозелёные леса распространены в условиях меньшего увлажнения (2000–3000 мм) и продолжительного (около 5 месяцев) сухого периода в Rakhine (Ракхайне), Tanintharyi (Танинтайи), дельте Irrawaddy (Иравади) и на севере Мьянмы. Это довольно светлые трех-, четырёхъярусные леса. Состав древесных пород верхнего яруса близок дождевым вечнозелёным лесам. В более низких ярусах растут пальмы, бамбуки, тростники. В нижнем ярусе много кустарников. На севере в таких лесах, кроме типичных тропических древесных пород, произрастают дубы и каштаны, бамбук либо вовсе отсутствует, либо его немного. Для некоторых районов характерны чистые диптерокарповые леса - диптерокарповые (от латинского Dipterocarpaceae) - семейство двудольных растений, входящее в порядок Мальвоцветные [27] - мальвоцветные (лат. Malvales) - порядок двудольных растений, большинство видов которых являются космополитами в тропическом и субтропическом поясе планеты, в умеренном климате проявляются реже [28]. Представители семейства являются крупными лесообразующими деревьями и, как

правило, имеют высоту 40-70 м. Помимо Мьянмы, роды и виды этого семейства распространены в Индии, на острове Шри-Ланка, Андаманских и Сейшельских островах, в Индокитае с полуостровом Малакка, на островах Малайского архипелага, в Новой Гвинее, а также на крайнем юге Китая (провинции Юньнань, остров Хайнань). Африканская часть ареала диптерокарповых захватывает экваториальную часть континента от западных берегов до Уганды и остров Маврикий на востоке. Недавно в тропической Южной Америке (Гайана, Венесуэла) было обнаружено и описано небольшое дерево пакараймеа диптерокарповая (*Pakaraimaeadipterocarpacea*), принадлежащее семейству диптерокарповых, к которому относят только древесные растения [29].

В районах, где количество осадков составляет от 1000 до 2000 мм, распространены муссонные леса: влажные листопадные и сухие листопадные. Влажные листопадные леса характерны для хребта Pegu (Пегу), восточных склонов хребта Rakhine (Ракхайн) и северных низкогорий. В этих лесах господствуют тик (ценная порода, используемая в судостроении, для изготовления железнодорожных шпал, в домостроительстве, мебельной промышленности) и соловое дерево. Кроме того, для влажных листопадных лесов характерны такие ценные породы, как «железное дерево» *xyliaxylocarpa Pyingado* (пуинкадо), *Yamanay* (емане), *Nabe* (набе), *Pitauk* (падаук), *Htanaug* (хноу) [30].

В наиболее высоких горах четко выражена высотная поясность растительного покрова. Так, например, в массиве ChinHill (Чин-Хилс) на западе Мьянмы на высотах 150–500 м растут тропические вечнозелёные леса, до высоты 1500 м – горные тропические вечнозелёное леса, до 2000 м – сосновые, а выше – дубово-рододендроновое редколесье. На Shan (Шанском) нагорье в поясе от 1200 до 1700 м преобладают горные тропические вечнозелёное леса, на высотах 1700–2500 – сосново-дубовые леса, 2500–2800 м – смешанные хвойные леса из сосны, пихты, ели и тсуги. Более сложная структура вертикальной поясности растительности имеет место в высоких горах северной Мьянмы. Там до высоты 900 м распространены вечнозелёные тропические и субтропические леса, на высотах 900–1200 м – горные вечнозелёное дубравы (с участием таких пород, как каштан, лавр, граб, магнолия,

клён), 1200–1600 м – сосновые леса, 1600–2300 м – смешанные леса, 2300–3000 м – мелколиственные леса, 3000–3500 м – хвойные леса, 3500–4000 м – рододендроновое криволесье, выше 4000 м – альпийские луга [31].

Для сухих листопадных лесов характерны менее влажные условия – 900–1250 мм осадков в год и более продолжительный сухой сезон (до 6 месяцев). Они распространены на междуречье Irrawaddy (Иравади) и Chindwin (Чиндуин), в предгорьях Pegu (Пегу) и Rakhine (Ракхайна), а также на аллювиальных равнинах рек Irrawaddy (Иравади), Chindwin (Чиндуин), Myittha (Мьита). Доминирует в них инксерофильный диптерокарпус, являющийся представителем в основном деревьев низменных тропических лесов, которые могут расти и размножаться в условиях с низкой доступностью влаги [32].

1.1.2. Деловая древесина

Очень большое и экономически важное значение для Мьянмы имеет культивирование тропических деревьев ряда ценных пород (в частности, железного дерева) наряду с кокосовой пальмой и тамариндом. В свете общей ориентации настоящей работы и использования объектов исследования целесообразно краткое представление информации об этих деревьях и связанных с их древесиной и семенами (плодами) особенностях.

Так, весьма распространённое благородное бирманское железное дерево (пуинкадо) произрастает куртинами во влажных тропических лесах Мьянмы зачастую в непосредственной близости с ещё одним представителем столь же ценных деревьев с благородной древесиной – тиком [33, 34]. Во взрослом виде Пуинкадо— это крупное дерево высотой 30–37 м (100–120 футов) с диаметром и обхватом ствола 0,75–1,25 и до ~3,7 м, соответственно. Деловой, свободный от сучьев ствол обычно имеет длину 12 м (40 футов). Свежий торцевой срез ствола характеризует узкая, бледная, красновато-белая заболонь и тусклое однородное красновато-яркое ядро (с несколькими темными отметинами в виде липких на ощупь пятнышек и/или прожилок), приобретающее со временем красно-коричневый цвет. Древесина пуинкадо имеет плотность примерно 950–1220 кг/м³. В отличие от Мьянмы, название

этого дерева в Индии - июль, в Камбодже - сокрам, во Вьетнаме - сам зе, в Таиланде – денг [34].

Название «железное дерево» характерно для многих видов деревьев, произрастающих в целом ряде стран. В соответствии с [35, 36] среди них различают такие виды, как иксора железная – антильское железное дерево, казуарина – род казуариновых, каркас южный, мезуа железная – железное дерево Цейлона, парротия персидская (Северный Иран и Азербайджан), похутукава – железное дерево Новой Зеландии, самшит – медленнорастущие вечнозеленые кустарники и деревца, некоторые виды родов Сварция (*Swartzia*) и Сидероксилон (*Sideroxylon*), хмелеграб – род деревьев семейства березовых, цезальпиния железная – бразильское железное дерево, эусидероксилон Цвагера (*Eusideroxylonzwageri*) – борнейское железное дерево и некоторые другие. Многие сайты интернета, включая цитированные выше, снабжены фотоснимками подобных деревьев. Определённое представление о бирманском железном дереве (пуинкадо) даёт фотография рисунка 1, заимствованная из [37].



Рисунок 1 - Бирманское железное дерево

Пуинкадо (*Xylocarpus malayanus*), в отличие от иных медленно растущих представителей железных деревьев (включая *Xylocarpus malayanus* и *Xylocarpus malayanus*), растёт довольно быстро и даёт твёрдую и прочную древесину, широко используемую, как в странах произрастания, так и за их рубежами [38]. *Xylocarpus malayanus*, о которой сообщается в данной публикации, - это многолетнее лиственное дерево, весьма заметное в сезон цветения из-за его ярко-жёлтых цветков [39]. Семена этого дерева съедобны, а само дерево считают лекарственным растением в Индии. В Таиланде же его листья используют для лечения ран у слонов.

Древесину пуинкадо наиболее широко используют там, где требуются прочность, долговечность и устойчивость к износу. Ее характеризуют особые водо- и износоустойчивость, а также беспрецедентный срок службы. Так, в частности, находясь в воде более 250 лет, она со временем становится лишь плотнее и крепче.

Из-за этих свойств древесину пуинкадо считают уникальной и практически единственной в мире, идеально пригодной для строительства пирсов (причалов), мостов, возведения свайных конструкций, производства мебели, различных пиломатериалов (железнодорожных шпал, досок для настилов и полов, паркета) [36]

Как правило, железные деревья отличает весьма плотная (тяжёлая) древесина, наращиваемая очень медленно и защищённая от порчи различными вредителями собственными дубильными или ядовитыми маслянистыми веществами [40, 41]. Их древесина из-за высокой плотности часто тонет в воде. Сравнительно большая высота (до 25–35 м), солидный возраст (200–250 лет и более) и обхват ствола до 2 м и более являются характерными чертами большинства этих деревьев [35, 42].

При разделке стволов пуинкадо и механической обработке его древесины на предприятиях Мьянмы различного профиля образуются значительные массы отходов, не находящие достойного использования.

На плоских берегах водоёмов областей Rakhine (Ракхайн) и Tanintharyi (Танинтайи) культивируют кокосовые пальмы, имеющие большое хозяйственное значение, как источники деловой и топливной древесины. Общая площадь плантаций кокосовой пальмы в Мьянме составляет около 83 тыс. акров (1 акр = 4840 кв. ярдов = 4046,86 м²). В среднем количество деревьев на одном акре составляет 70, а урожай с одной пальмы - 40 кокосовых орехов в год. Эти деревья выращивают во всех штатах и округах страны, хотя главными из них являются прибрежные штаты Ракхайн и Мон наряду с округами Эйявадди и Танинтари, где находится 82 % всех плантаций страны (51 % в округе Эйявадди). Значительный урожай кокосовых орехов обеспечивают и плантации западного взморья страны (включая Нгвесаунг), однако высокие расходы на транспортировку (в основном копры - кокосовой мякоти и ряда других продуктов, получаемых на базе кокосовых орехов) являются причиной малой заинтересованности в нем бизнеса, несмотря на низкие местные цены.

Кокосовая пальма (*Cocosnucifera*) входит в первую десятку старейших, важнейших и самых ценных для человека деревьев на планете. Ареалом её обитания являются в основном берега материков и островов возле океанов и морей в тропиках обоих полушарий. Это дерево, имеющее в зрелом возрасте слегка наклонённый

преимущественно в сторону моря ствол диаметром 30–60 см, может достигать высоты 27-30 м, а её ветви с перистыми листьями – длины в 3-6 м, как это иллюстрирует фотография рисунка 2. Продолжительность жизни кокосовой пальмы около ста лет. Она предоставляет населению и реализуемым им производствам множество возможностей для удовлетворения их различных потребностей [43– 47].



Рисунок 2 - Фрагмент кокосовой пальмы с плодами

Согласно ФАО (FAO– Food and Agriculture Organization) - организации по продуктам питания и сельскому хозяйству при ООН около трети населения Земли в той или иной степени зависит от выращивания кокосовой пальмы и производства из неё разнообразных продуктов [47, 48]

Древесину и ветви кокосовой пальмы используют при сооружении хижин, изготовлении мебели, плетении корзин и всевозможных иных изделий, а её плоды – для приготовления пищи различных видов и многих косметических, оздоровительных и медицинских средств, в том числе идущих на экспорт [46, 47].

Скорлупу кокосовых орехов стоимостью 25–30 USD за 1 т в стране используют преимущественно для углежжения с целью получения топлива для индивидуальных хозяйств. В среднем масса скорлупы в кокосовом орехе составляет 0,15 кг, а из 1 т, включающей 6700 скорлуп, получают до 0,4 т угля.

Уход за деревьями кокосовой пальмы, переработку и использование её орехов сопровождается образование разнообразных отходов, в значительной их части не имеющих полезного использования.

Представителем весьма многочисленного подсемейства цезальпиниевых (растений большого семейства Бобовые - Fabaceae) [49] и единственным рода тамариндов является распространённый в Мьянме тамаринд (*Tamarindus*), родом происходящий из недр черного континента и широко культивируемый с декоративными и иными целями. Он представляет собой долгоживущее вечнозеленое и плодоносящее дерево семейства бобовых высотой до 20 и диаметром раскидистой кроны до 9 м (рисунок 3).



Рисунок 3 - Старое дерево
тамаринда в центре
Мьянмы (г. Багана)

В опаде этих деревьев, представленном в основном листвой и обломками веток, наряду с отходами, образующимися при организованном уходе за ними в качестве фрагментов стволовой древесины (обрезки, щепы, опилки), определённую долю занимают и плоды различного качества азиатского тamarинда (зрелые, некондиционные и порченные вместе с их частями - стручковыми оболочками, мякотью и косточками), в зрелом виде представляющие собой сравнительно длинные (до 20 см) коричнево-зеленоватые стручки, обычно содержащие от 6 до 12 семян, тогда как африканские и западно-индийские сорта имеют более короткие стручки с числом семян от 1 до 6. Урожай взрослого дерева может достигать 175 кг в год. Его плоды, имеющие высокое содержание винной кислоты, витаминов группы В, сахара и кальция, а также оригинальный кисло-сладкий вкус, широко используют как в Мьянме, так и в других кухнях мира [50, 51].

Тамаринд выращивают во всей экваториальной, тропической и субтропической зоне Центральной и Латинской Америк (завезен в 16-м веке), во многих азиатских странах. Дерево выдерживает даже несколько градусов ниже нуля по Цельсию, что и ограничивает северную и южную зоны его выращивания [52].

Плоды тamarинда, внешний вид которых иллюстрирует фотография рисунка 4, служат компонентами приготовления пряных, обычно сладких и острых приправ, широко используемых в каждой южноазиатской кухне, они содержат полезные для здоровья вещества, такие как летучие органические соединения, витамины и



Рисунок 4 - Плоды
тамаринда

клетчатка. Стручки тamarинда известны как традиционные медицинские средства, используемые в качестве слабительных и восстановителей нормального пищеварения, включая желчные расстройства [53].

Плоды тamarинда различной зрелости, находящиеся в массе обычно полезно не утилизируемого опада этих деревьев, при их выделении из массы таких отходов наряду с остатками

пищевой переработки зрелых плодов тамаринда могут представлять собой, как показано ниже, достаточно весомый сырьевой источник для рациональной трансформации технического назначения.

1.1.3. Внутреннее потребление и экспорт

Леса обеспечивают доход многим экономическим секторам государства, включая такие крупные, как сельское хозяйство, животноводство, энергетика, и даже туризм. Около 70 % населения Мьянмы в настоящее время проживает в сельской местности, где леса удовлетворяют значительную часть его нужд в пищевом, кормовом, бытовом (в том числе топливном) потреблении, обеспечивая охотничьи угодья и целый ряд возможностей получения побочных доходов. Оценочное потребление дров в Мьянме «составляет около 44,6 млн. м³ в год, а среднегодовое потребление топливной древесины в домашних хозяйствах за последние десятилетия находится на уровне примерно в 1,6 м³ для городских домохозяйств и 2,8 м³ для сельских» [54]. В целом же потребления топливной древесины зависит от масштабов сельского хозяйства, размера домашних хозяйств, наличия замещаемых видов топлива, уровня жизни и погодных условий. В северной и восточной частях страны дрова сжигают для отопления в течение всего холодного сезона. Вторым по значимости топливом после дров в стране является древесный уголь, представляющий собой наиболее распространённое биотопливо в Мьянме.

Экспорт древесины играет важную роль для национальной экономики Мьянмы, составляя в последние годы около 10 % общего объёма экспортных доходов [54].

В 2014 году промышленностью Мьянмы произведено около 6 млн м³ ствольной древесины (брёвен) стоимостью около 1780,6 млн. US \$. В экспорте древесины преобладают бревна, гораздо меньше пиломатериалы, хотя страна экспортирует также и другие продукты переработки древесины, такие как фанера, шпон, бумага, мебель. В целом в экспорте лесной промышленности Мьянмы доминирует ценный бирманский тик. Полагают, что «обширные природные ансамбли тика сегодня можно увидеть только в Мьянме. Наряду с тиком страна экспортирует и многие другие виды, среди которых следует отметить древесину пуинкадо (*XyliaDolabriformisBenth*), падук

(*Pterocarpus macrocarpus*), тхунккянт (*Terminalia tomentosa*), резинового дерева (*Hevea brasiliensis* - одного из основных видов, культивируемых на плантациях) и ряда других деревьев» [54]. Определённое представление о видах экспорта древесины из Мьянмы дают данные таблицы 1 [55].

Лесопромышленный департамент Министерства лесного хозяйства Мьянмы, включающего 26 подразделений, более ста руководителей и около 3000 сотрудников, курирует и контролирует поставку древесины с момента прибытия грузовых автомобилей, барж и поездов на лесозаготовительные склады до передачи права собственности на грузы заказчику в портах и терминалах [56]. Иллюстрируя масштабы поставок, можно отметить, что Министерством ресурсов и сохранения природных богатств Мьянмы было объявлено о производстве 350 тыс. т древесины железного дерева в 2017–2018 тендерном году [57].

Существенный ущерб экономике страны сопряжён с нелегальной торговлей древесиной. Так, в частности, согласно данным [58] лесные угодья северного мьянманского штата Kachin (Качин), расположенного вдоль границы с Китаем, в настоящее время разграблены торговцами древесиной, которые часто расплачиваются даже не деньгами, а золотыми слитками. В итоге нелегальный поток древесины из Мьянмы через китайскую границу является одним из крупнейших в мире и оценивается в сотни миллионов долларов, о чем сообщала газета The Straits Times, ссылаясь на презентованное 17.09.2020 г. в Пекине 24-страничное исследование британской организации Environmental Investigation Agency [58].

Таблица 1 - Виды зарубежных древесных рынков Мьянмы [54].

№	Страна	Вид древесины
1	Индия	Бревна тика и пуинкадо для строительства
2	Китай	Тик (бревна и опилки) и другие деревья, пригодные для производства мебели
3	Таиланд	Бревна тика и пуинкадо для реэкспорта и строительства
4	Бангладеш	Бревна тика и пуинкадо для строительства

Продолжение таблицы 1.		
№	Страна	Вид древесины
5	Вьетнам	Бревна тика для строительства и производства садовой мебели
6	Сингапур	Тиковые полы для развития недвижимости и рэкспорта
7	Другие	Бревна, шпон и опилки пуинкадо

В этом исследовании [58] говорится о том, что по мере истощения лесов в самом штате Качин, потоки древесины (основные виды – это тик и розовое дерево) начинают идти из внутренних районов Мьянмы. Из штата Качин древесину контрабандой доставляют в китайскую провинцию Юньнань, при этом весь путь следования связан с коррупционными схемами. В этой связи одна только Мьянма в период с 2001 по 2013 годы потеряла 1,7 млн. гектаров леса. Древесина поступает в Китай также из Вьетнама и Таиланда, но именно Мьянма с её 2000-километровой границей с Китаем служит основным источником для удовлетворения потребностей китайских деревообрабатывающих фабрик.

В теории законодательное регулирование вырубки и транспортировки леса в Мьянме является довольно строгим. Но реальность такова, что центральное правительство фактически не имеет никакого контроля над обширными приграничными территориями. Например, армия Мьянмы контролирует всего 60 % территории штата Качин. Остальная территория находится под контролем вооружённых сепаратистских группировок, которые по своему усмотрению дают права на вырубку и собирают налоги. Торговлю контролируют богатые местные кланы [58].

В апреле 2014 года Мьянма запретила экспорт необработанной древесины. В январе 2015 года армия страны совершила рейд в штате Качин, в результате которого были арестованы и приговорены к длительным тюремным срокам 155 китайских лесорубов (некоторые время спустя они были помилованы и переданы Китаю в рамках объявленной в Мьянме амнистии). При этом, если нелегально заготовленная в Мьянме древесина все-таки попала на китайскую территорию, то после оплаты всех

ввозных пошлин на китайской стороне она становится абсолютно легальной. Компания «Цзиньсин Трейдинг» стала в 2014 году основным импортёром в Китай розового дерева - она ввезла, согласно китайским таможенным документам, 34,3 тыс. т древесины [58].

В докладе приведены жалобы мьянманских чиновников на то, что «Китай не принимает должных мер для ограничения нелегальной торговли древесиной. При этом, как подчёркивают исследователи, речь идёт о сохранении наиболее важных с точки зрения экологии лесных угодий Юго-Восточной Азии - субрегиона Большого Меконга. Согласно прогнозу специалистов, к 2030 году в этом субрегионе будет безвозвратно потеряно 30 млн. гектаров леса в основном за счёт нелегальных рубок, расширения сельскохозяйственных земель и развития инфраструктуры городов» [58].

1.1.4. Государственная лесная политика

Учреждённая в 1995 г. государственная лесная политика Мьянмы определяет шесть основных принципов достижения национальных стратегических целей: 1) эффективное использование древесины и изделий из древесины, 2) создание отраслей деревообрабатывающей промышленности, которые генерируют минимальные отходы и максимум производительности, 3) поощрение использования мало используемых видов древесины и экспорта товаров с добавленной стоимостью на внешние рынки, 4) адекватное местное производство и снабжение для удовлетворения внутренних потребностей, 5) продвижение экспорта готовой древесины на внешние рынки, 6) создание недревесных лесных продуктов и удовлетворение местных потребностей с обеспечением новых рабочих мест [54].

Существо позиций 1, 3 и 4 этого перечня обуславливает, в частности, необходимость выполнения исследований, ориентированных на разработку технологических основ эффективного вовлечения в материальное производство древесных отходов, образование которых сопровождает лесоповальные и лесосечные работы, а также ансамбль операций разделки стволовой древесины и её переработки в многочисленные изделия разнообразного назначения. Один из вариантов указанной разработки, как следует из изложенного выше, вероятно, целесообразно

ориентировать на производство на названной отходной основе углеродных адсорбентов в виде, в частности, активных углей, собственными производствами которых страна в настоящее время практически не располагает [54].

1.2. Некоторые виды сельскохозяйственных культур технической, пищевой и декоративной ориентации

Среди данного вида сельскохозяйственных культур Мьянмы наиболее важными с позиций значимости совокупности производимой продукции и массы слабо утилизируемых отходов, сопровождающих её переработку и представляющих собой объекты исследований настоящей работы, являются возделывание хлопчатника, производство риса, переработка урожаев манго и сливы, реализация выполнившей свою основную функцию продукции цветоводства.

1.2.1. Возделывание хлопчатника

Для сухой зоны Мьянмы, где выпадает 600–800 мм осадков в год, характерны красно-бурые саванные почвы, на которых растут редкие кустарники, а травяной покров отсутствует. На солончаках сухой зоны распространена редкая угнетённая растительность. Преобладают кустарники *Pipteris* (пип) и *Acacia* (акации) [59]. В этой зоне, расположенной в центральной Мьянме между 30 и 37 градусами южной широты, в теплом, безморозном и солнечном климате выращивают хлопчатник, как это иллюстрируют данные рисунка 5.



Рисунок 5 - Плантация хлопчатника в Мьянме и её участок перед сбором урожая

Хлопковое волокно является основным сырьём для развития современной национальной текстильной промышленности, состоящей как из государственных, так и частных фабрик, а также из кустарного ткачества, производящего в основном традиционную одежду. С ростом популярности использования хлопкового масла для приготовления пищи и хлопкового жмыха в качестве корма для скота и рыбоводства, хлопок все чаще признается и в качестве важной пищевой и кормовой культуры [60].

Более полумиллиона человек в стране получают средства к существованию прямо или косвенно от хлопководства, уборки и переработки урожая хлопка, его побочных продуктов и торговли ими. Мьянма когда-то была крупной страной-экспортёром хлопка в регионе. Однако с развитием и расширением национальной текстильной промышленности весь производимый хлопок в настоящее время потребляется внутри страны [61, 62].

Хлопчатник требует многих солнечных дней с температурой 16–35 °С. Основными странами-производителями хлопка являются США, Китай, Индия, Пакистан, Узбекистан, Бразилия, Австралия, Египет, Аргентина, Турция и Греция [63]. Хлопчатник относится к роду *Gossypium* семейства Мальвовых. Среди существующих различных его видов коммерческие сорта, выращиваемые в настоящее время в Мьянме, подразделяют на два ботанических вида: *Gossypium hirsutum*, широко известный как длинно-штапельный хлопок, и *Gossypium arboreum*, представленный местными коротко-штапельными сортами. Несмотря на то, что длинно-штапельный хлопок был введён в культивирование только в начале 1960-х годов прошлого века, уже в 2005-2006 годах его сорта покрывали почти 80 % общей площади плантаций хлопчатника, хотя на их долю приходится 75 % нынешней площади выращивания в стране хлопчатника, что объясняется его превосходством по урожайности и качеству волокна по сравнению с местными сортами хлопка [64].

Хлопок выращивают в течение трех сезонов, в значительной степени перекрывающих друг друга, главным образом как влаголюбивую культуру. Длинно-штапельные сорта хлопчатника преимущественно выращивают в конце муссонного сезона, который длится с июля-августа (посев) до декабря-января (сбор) и в течение

предшествующего сезона с февраля-марта (посев) до июня-июля (сбор). Коротко-штапельные сорта хлопка и часть длинно-штапельного хлопка выращивают в дождливый сезон муссонов с мая-июня (посев) по ноябрь-декабрь (сбор урожая) [62, 65].

По данным Министерства сельского хозяйства, животноводства и ирригации Мьянмы, в 2022-2023 финансовом году по всей стране хлопок должны были возделывать на площади в 500 тысяч акров и она будет ежегодно расширяться для удовлетворения местных потребностей, импортозамещения и экспорта, а также для увеличения доходов фермеров [66]. Ежегодно в период с 1995/1996 по 2010/2011 финансовый год страна выращивала хлопок на площадях от 700 до более 800 тысяч акров. После 2011/2012 г количество хлопковых плантаций заметно сократилось, и в 2019/2020 г оно составило всего 400 тысяч акров, что обусловлено возделыванием сортов хлопка, устойчивых к вредителям типа плодовых червей, и более чем вдвое (с 200 до 450 стандартных корзин с акра) увеличившейся урожайностью.

Хлопок используют для изготовления тканей и одежды, пищевого и технического масла из хлопкового семени. Остатки (крупнотоннажные отходы) выращивания хлопка в виде измельчённых стеблей свежесобранной гуза-паи (стеблей и корневищ растений) наряду со створками коробочек хлопчатника после специальной предварительной обработки служат в качестве корма для животных, а высохшие стебли растений используют в качестве топлива для удовлетворения домашних и иных нужд, что, однако, не решает задачу более рационального использования этих отходов и известный ансамбль проблем обращения с ними [66, 67]. Ежегодно Мьянме требуется более 350 млн. т хлопка для 54 миллионов человек, чтобы производить ткани для одежды и другие изделия из хлопка [66] Объёмные массы мало утилизируемой гуза-паи, сопровождающие уборку урожая этой культуры, представляют серьёзную проблему, как в части возделывания хлопчатника, так и в экологическом плане [66, 67].

1.2.2. Выращивание риса

В дельте реки Irrawaddy (Иравади) размещены многочисленные рисовые поля [68]. В этом плодородном районе Мьянмы на орошаемых площадях рисовых чеков около 3,6 млн. га (9 млн. акров) в настоящее время выращивают большую часть риса. Один из этапов возделывания этой пищевой культуры иллюстрирует фото рисунка 6.



Рисунок 6 - Одна из стадий выращивания риса

Собираемый здесь урожай достаточен, чтобы накормить все население страны [69]. В 2022 году урожай основной культуры богарного риса, на которую обычно приходится более 80 % годового производства, прогнозировался (включая второстепенные культуры, которые высаживают в конце года) на уровне 23,8 млн. т риса-сырца, что примерно на 10 % ниже среднего уровня за последние пять лет и в значительной части обусловлено существенным повышением цен на ряд сельскохозяйственных ресурсов. Так, согласно недавнему исследованию, проведённому Международным исследовательским институтом продовольственной политики (IFPRI–International Food Policy Research Institute), внутренние цены на мочевины и комплексные удобрения в июле 2022 года были на 90 и 75 % соответственно выше по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, в то время как цены на гербициды и пестициды выросли на 50 и 40 % соответственно [70].

Исследование сведений о рисе и его продуктивности в сезоны дождей 2020 и 2021 гг. по данным Обзора эффективности сельского хозяйства Мьянмы (MAPS – Myanmar Agriculture Performance Survey), основанным на опросе 2672 производителей риса в 259 населённых пунктах во всех регионах страны, позволяет констатировать, что урожайность риса в сезон дождей 2021 года снизилась в среднем на 2,1 % по сравнению с аналогичным сезоном 2020 года, а производство риса в стране сократилось на 3,4 %, что сопряжено с возросшими ценами на большинство ресурсов и механизацию. Наряду с этим цены на фермерский рис выросли лишь на 8 %, что значительно меньше, чем цены на вспомогательные материалы, и привело к сокращению прибыли фермеров по итогам выращивания риса в сезон дождей 2021

года. В этой связи ситуация в рисовом секторе, являвшемся источником стабильности в стране, вызывает беспокойство, учитывая дальнейшее повышение цен на значимые факторы производства (особенно на удобрения), общее снижение прибыльности выращивания риса, ограниченные стратегии выживания, остающиеся для рисоводов, и изменения валютной политики правительства [71-73].

Среди отходов, сопровождающих возделывание этой сельскохозяйственной культуры и трансформации её урожая в товарные пищевые продукты, одну из весьма серьёзных проблем в Мьянме представляет рисовая шелуха.

1.2.3. Культивирование фруктовых деревьев

Большинство тропических фруктов Мьянмы культивируют в разных районах страны, вследствие чего многие их виды доступны круглый год. В то же время данная отрасль садоводства Мьянмы все ещё находится в неудовлетворительном состоянии, хотя отечественные производители фруктов способны удовлетворить все местные потребности и обладают существенным потенциалом для экспорта. Плоды манго и сливы наряду с мускусными дынями и арбузами являются основными товарами экспорта в Китай и Сингапур [74-76] данные таблицы 2.

Таблица 2 - Масштабы экспорта Мьянмой в Китай манго и сливы (в тыс. т)

Фрукт	Годы					
	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Манго	16,704	21,761	44,361	34,276	39,914	38,750
Слива	3,001	2,361	4,152	5,585	3,047	6,620

Лиственные фруктовые (плодовые) деревья культивируют в Мьянме в крупных масштабах с 30-х годов прошлого века. Среди них главными являются слива (слива Дамсона, Мармелад зизифуса мавританского), манго, яблоня, груша (азиатская) и абрикос (японский). Наряду с этим в небольших масштабах в ряде областей страны выращивают также и некоторые другие лиственные плодовые культуры. Почва, рельеф и климатические условия холмистых регионов страны благоприятствуют

выращиванию названных плодов, в связи с чем, именно их деревья в таких регионах наиболее распространены, причём занимаемые ими площади демонстрируют тенденцию к увеличению год от года. Урожайность в Мьянме, в частности, слив в конце прошлого века, характеризует информация таблицы 3 [77].

Таблица 3 - Производство сливы в различных штатах Мьянмы в 1996–97 гг.

Штат/ подразделение	Культивируемая площадь, га	Урожайная, площадь, га	Урожай, т/га	Общая продукция, тыс. т
Kachin State (Качин)	10,1	10,1	3,23	32,62
Chin State (Чин)	91,5	90,3	0,81	73,14
Shan State (Шан)	267,2	234,8	0,89	208,97
Mandalay	608,5	597,6	0,82	490,03
Всего	977,3	932,8	-	804,76

Сливу, как и японский абрикос, обычно используют для консервирования в виде обезвоженных и солёных продуктов, но не для рынка свежих фруктов, хотя и продают в зависимости от имеющихся потребностей (в целях предотвращения потерь урожая) на местном уровне для приготовления населением различных закусок и соков [74]. Большинство выращиваемых сортов сливы, об одном из которых даёт представление фото рисунка 7, являются местными и несколько уступают по качеству существующим мировым стандартам.

Деревья размножают семенами плодов, собранных с собственных деревьев производителей, не используя ни для одной из этих культур методы вегетативного размножения. Площади под сливами и японскими абрикосами ежегодно увеличиваются из-за растущего спроса на консервирование. Холмистые районы, расположенные на высотах около 1000 м, судя по всему, наиболее подходят для выращивания этих двух видов фруктов в Мьянме [78]

Косточки слив и их фрагменты представляют собой практически не находящие полезного использования и спроса отходы пищевых производств Мьянмы.



Рисунок 7 - Плодоносящая
плантация сливы

Широко распространённая в Мьянме фруктовая культура манго относится к обширному семейству Анакардиевых (Anacardiaceae) или Сумаховых, Фисташковых, роду Манго (Mangifera), насчитывающему 69 видов этих растений [78], хотя ряд публикаций свидетельствует о существовании примерно 600 сортов манго, среди которых культивируют в основном лишь около 35 тонн [79]. Наиболее популярным представителем этого рода является Манго индийское (Mangifera indica), культивируемое в виде примерно 200 сортов уже более 8 тыс. лет и ставшее важнейшей сельскохозяйственной культурой в тропическом поясе Земли [79, 80].

Характеризуемые ниже сведения о культуре манго представлены по данным [81]. Родиной манго согласно [81, 82] считают приграничную зону Индии и Мьянмы. Произрастая только в теплом тропическом климате, манго никогда не сбрасывает листья [80]. Дерево достигает 10–45 м в высоту и 10 м в диаметре кроны, однако для возделывания на плантациях более практичными считают сорта с деревьями небольших габаритов, как это иллюстрирует рисунок 8.



Рисунок 8 - Плантация
манго

Манго может расти и плодоносить до 300 лет. В 6-летнем возрасте дерево начинает цвести (из его цветов получают эфирное масло) и плодоносить. В 15 лет оно достигает полной урожайности, составляющей в среднем 40–70 тонн с гектара. В природе в год манго даёт лишь один урожай, но в условиях его культивирования агрономы добиваются получения двух урожаев.

Согласно [83] в Мьянме произрастает около 300 сортов и 20 разновидностей манго, хотя только немногие из них (такие как Сейн Та Лоне, Инь Кве, Шоу Хин Тар и Мя Кяук) обладают качеством (высоким уровнем сладости), необходимым для

экспорта. Размер спелых плодов манго, в зависимости от сорта, составляет от 6 до 25 см, а вес может достигать 2 кг, хотя обычно находится в пределах примерно 200-400 г. Форма плода является одной из характеристик сорта, она может быть округлой, овальной, яйцевидной и практически всегда асимметричной. Цвет и запах зрелых плодов также являются характеристиками сорта.

Манго наиболее широко культивируют в штатах Ayeyarwady, Bago, Shan и Yangon. Площадь, занимаемая садоводческими культурами в целом, составляет 17 % от сельскохозяйственной территории страны [84] урожай представляет собой пятый по объёму в секторе её сельского хозяйства [85] являющемся ведущим с занятостью 61,2 % общих трудовых ресурсов и обеспечивающим (по данным 2009-2010 гг.) 32 % ВВП и 17,5 % общей экспортной прибыли [84]. Сорта манго *Mangifera Indica*, Linn и *Family Anacardiaceae* играют среди садовых культур центральную роль в выращивании фруктов в Мьянме. Общая территория выращивания манго в 2010–2011 г составляла в Мьянме несколько более 70 га [86].

Основными обременительными отходами пищевых предприятий и учреждений общественного питания Мьянмы, занятых переработкой плодов манго, являются кожица этих фруктов, оболочки семян и сами семена (косточки).

1.2.4. Цветоводство

Сектор цветоводства Мьянмы обладает огромным потенциалом. Внутренний рынок цветов велик по размерам, его потребители равнодушны к цветам, а из-за традиций преобладающего буддийского общества (Мьянма – религиозная, преимущественно буддийская страна, почти 90 % ее населения исповедует буддизм) в виде ежедневных подношений и церемоний использование цветов на душу населения, мягко говоря, впечатляет. Однако, каким бы большим ни был названный потенциал, повсеместное увеличение профессионализации на всех ступенях этого сектора обуславливает необходимость серьёзного совершенствования [87].

Центральная зона страны представляет наибольший интерес для цветоводческого сектора. Флоро-коммерческий центр Мьянмы находится в бывшей столице страны Янгоне с населением 7 млн. человек. С точки зрения производства эта

зона, за исключением прилегающих районов вокруг Янгона, региона Мандалай и юга штата Шан, имеет важное значение. Особо следует отметить г. Пиин У Лвин в регионе Мандалай, известный как цветочный центр страны, расположенный в высокогорье на высоте около 1100 м над уровнем моря [88] выращиваемую с коммерческими и декоративными целями продукцию которого иллюстрируют фотографии рисунка 9.



(а)



(б)

Рисунок 9 - Выращивание роз (а) и хризантем (б)

Основными продуктами цветоводства, представленными на внутреннем рынке торговли срезанными цветами в Мьянме, являются хризантемы. За ними следуют розы, лилии, каллы, гладиолусы, астры, гвоздики, жасмин и ещё ряд представителей местной флоры, включающий, в частности, орхидеи (в основном *Dendrobium* spp), франжипании, геликонии и антуриума. Общее качество цветочной продукции, доступной на рынке, в целом низкое.

Несмотря на ряд предпринимаемых усилий, цветочный сектор Мьянмы остаётся традиционно отсталым. Ему не хватает разумных и устойчивых методов производства, должного уровня осведомлённости, генерирования и распространения передовых знаний на всех ступенях от посадочных работ до послеуборочных мероприятий, включая логистику, широкого использования высокотехнологичной поддержки и новых высокоурожайных сортов устойчивых к болезням посадочных материалов (цветочных луковиц), что в целом негативно сказывается прежде всего на

качестве продукции. Исходя из этого, с учётом наличия большого резерва дешёвой рабочей силы, гео-климатического разнообразия Мьянмы и стратегического расположения этого государства, справедливо отметить, что сектор его цветоводства функционирует на слабом уровне своего потенциала [89].

Цветы в основном реализуют через посредников двух типов - региональных и оптовых рыночных трейдеров. Местные посредники (брокеры) скупают цветочную продукцию напрямую у производителей, а затем продают ее торговцам на оптовом рынке, хотя и последние закупают её у местных брокеров или непосредственно у производителей. Самым крупным и важным в стране оптовым рынком свежих продуктов и специй с впечатляющим отделом срезанных цветов, безусловно, является Тыри Мингала (Thiri Mingalar): в сезон дождей брокеры ежедневно ввозят от 6 до 10 10-колесных грузовиков с цветами, в зимний период через день доставляют 3–6 таких грузовиков [90]. Продажная розничная стоимость наиболее массовых представителей срезанных цветов в Мьянме сравнительно невелика, составляя в кьят (1 рубль = 40 кьят) за стебель для хризантем и гладиолусов 200–300, роз 200–400, лилий 4000-7000, других местных цветов 100-300.

Наиболее широко распространёнными и используемыми цветами являются хризантемы предпочтительно белого, жёлтого и оранжевого цвета, спрос на которые весьма велик и стабилен: от 7 до 10 12-колесных грузовиков ежедневно прибывает на оптовые рынки Янгона (около 30 грузовиков с хризантемами доставляют на такие рынки по всей стране). Большим спросом пользуются и розы преимущественно красного, жёлтого и белого цвета. Он также практически стабилен, но максимален в октябре-феврале: ежедневно только для снабжения Янгона прибывает до 3–5 грузовиков с розами, а для ежесуточного снабжения всего рынка этих цветов в стране используют 12–15 грузовиков. Розы некоторых цветов (в частности, окрашенного синего, кремового и розового) импортируют из Китая. Чтобы управлять развитием бутонов роз, их снабжают индивидуальными искусственными оболочками. Весьма популярными цветами сегодня из-за нежного аромата и длительности сохранности свежего вида при стоянии в воде различных сосудов (ваз) являются лилии, которые в стране ежегодно потребляют в количестве от 5 до 8 млн. стеблей. Астры - ещё одна

разновидность популярных цветов из-за их привлекательности и относительно низкой цены. Их выращивают преимущественно в городах Пьин У Лвин (Pyin Oo Lwin) и Пяй (Pyaw). Каждый день примерно 4–5 и 10-колесных грузовиков с этими цветами прибывают в Янгон (Yangon), а от 8 до 12 грузовиков снабжают ими весь внутренний рынок страны [5]. Реализуемая на цветочных рынках продукция с течением времени безвозвратно теряет свои декоративные свойства, образуя крупные массы растительных отходов, обычно не находящихся полезного использования.

Выращивание цветов в Мьянме осуществляют за некоторыми исключениями в открытом грунте без использования затеняющих сеток, ирригационного оборудования и специальных субстратов, хотя в стране действуют несколько компаний, осуществляющих поставку теплиц, ориентированных на защищённое производство овощей. При этом цветоводы культивируют, сортируют, упаковывают и хранят свою продукцию, не используя никаких стандартизованных технологий, хотя ожидается, что в ближайшие годы эта ситуация начнёт трансформироваться.

Цветочные плантации в Мьянме находятся в частной собственности. При этом знания и навыки практического обращения с выращиваемыми цветами передаются из поколения в поколение, от отца к сыну, хотя очевидная их ущербность практически на всех ступенях от производства до маркетинга существенно сказывается на доходах производителей. Наряду с этим в стране складывается мнение, что правительство Мьянмы постепенно начинает признавать цветочный сектор стратегически важной сельскохозяйственной отраслью. Однако без необходимой надёжной и достоверной статистической информации характеризуемый сектор с экономических позиций продолжает по-прежнему оставаться черным ящиком. Предполагают, что правительство будет инвестировать в профессионализацию сектора декоративных и срезанных цветов, проводя систематический сбор количественной и качественной информации о его деятельности с обменом с ним результатами её анализа путём использования массовых медиа-каналов в виде радио- и телепередач, статей в газетах, сельскохозяйственных и садоводческих журналах, возможностей, предоставляемых интернетом через социальные сети и мобильные приложения [91].

1.3. Состояние утилизации растительных отходов в Мьянме

В Республике Союз Мьянма отсутствуют действующие производства, связанные с переработкой растительных отходов, в частности, побочных продуктов обрушения зёрен риса, возделывания хлопчатника, разделки и обработки древесины железного дерева, остатков пищевых технологий, сопряжённых с использованием плодов кокосовой пальмы, манго, сливы и тамаринда, превращающихся в утиль цветов, значительная часть которых представлена розами и их букетами. Суммарную массу их годового образования оценивают величиной порядка 100 млн. т (как об этом свидетельствуют приведённые ниже сводные данные таблицы 4, в связи с чем весьма значительные количества названных отходов не находят эффективного применения.

Таблица 4 – Примерные объёмы ежегодного образования отходов

Наименование отхода	Примерная масса образования
Древесина железного дерева	59,6 млн. т
Рисовая шелуха	25,7 млн. т
Скорлупа кокосовых орехов	12,5 млн. т
Гуза-пая	294 тыс. т
Букеты роз	165 тыс. т
Скорлупа косточек сливы	161 тыс. т
Кожура плодов тамаринда	155 тыс. т
Оболочки семян манго	20,4 тыс. т

Основные массы скорлупы кокосовых орехов сосредоточены на предприятиях пищевой, медицинской и косметической ориентации, а также в многочисленных частных производствах углежжения и артизаната. Рисовую шелуху аккумулируют на заводах обрушения зерна урожая риса. Отходы древесины железного дерева скапливают на предприятиях его механической обработки. Оболочки семян манго направляют совместно с другими компонентами обработки плодов в отвалы кондитерских и консервных производств. Остатки возделывания хлопчатника в основном сжигают на местах образования. Скорлупу косточек сливы в местах централизованной переработки плодов в ряде случаев размалывают, используя продукт для подкормки птиц. Кожуру плодов тамаринда практически не используют

даже на предприятиях переработки плодов в пищевой и фармацевтической отраслях промышленности. Вышедшие из употребления букеты роз централизованного сбора не имеют, являясь компонентами твёрдых коммунальных отходов.

Следует отметить, что проблема утилизации растительных отходов в различной степени решена даже в индустриально развитых странах. Согласно, например, данным работы [92] древесные отходы в России используют лишь на 30 %, тогда как в европейских странах – на 60–70 %, а твёрдые коммунальные и сельскохозяйственные – не более, чем на 5 %, в то время как в государствах Европы – от 60 % в Германии до 80 % в Швейцарии и Дании, в Японии – до 85 %. Таким образом, важность изыскания эффективных решений в области обращения с данными отходами весьма значима не только для Мьянмы, но и для многих других стран [93].

С отходами в Мьянме сопряжены многие проблемы экономического и природоохранного плана, вследствие чего поиск путей их рационального использования является актуальной задачей, являющейся предметом внимания не только руководства страны, но и международной общественности.

Так, в ноябре 2018 года группа специалистов по инвестициям и био-экономике Глобального института зелёного роста (Global Green Growth Institute), командированных в регион дельты реки Иравади (Irrawaddy), встречалась с представителями национального и региональных правительств, неправительственных организаций, фермерских ассоциаций, предприятий и сообществ с целью определения потенциальных био-экономических товаров и инвестиций, которые позволят социально инклюзивный зелёный рост и поддержку национальных целей по смягчению последствий изменения климата и адаптации в прибрежных районах. Способствуя обсуждению ряда текущих видов деятельности, особое внимание они уделяли побочным продуктам выращивания и переработки рисового зерна, так как по данным продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций в 2016 году Мьянма произвела более 25 миллионов метрических тонн риса, из которых почти половина урожая приходится на названный регион, где находятся сотни малых и средних рисовых заводов. В процессе проведённых консультаций констатировано, что при уборке урожая риса и

его обмолоте образуется значительное количество менее ценных побочных продуктов. К ним принадлежат рисовая солома, которую часто сжигают, рисовые отруби и рисовая шелуха, которую часто незаконно сбрасывают в водные артерии, что оказывает негативное воздействие на качество речной и питьевой воды и безопасность судоходства.

Наряду с этим данные малоценные сопутствующие продукты могут быть использованы для производства тепла, энергии и материалов с более высокой добавленной стоимостью, что может увеличить доход фермеров и производителей риса и обеспечить доступной энергией достаточно широкий регион. Дельта имеет низкий уровень электрификации, составляющий примерно 10 %, и страдает от хронической нехватки электроэнергии. Её дефицит не только ограничивает развитие бизнеса, но и способствует повсеместной вырубке мангровых зарослей, как источника топливной древесины [94] - традиционного вида биомассы, являющейся в настоящее время практически единственным источником основного энергопотребления в сельской местности [95] и главным видом топлива для приготовления пищи и отопления [96]. Таким образом, высокий уровень сельской бедности обуславливает серьёзную негативную нагрузку на бирманские леса и мангровые заросли, связанную с заготовкой топливной древесины и древесного угля.

Потенциал возможного повторного использования биомассы основных растительных источников Мьянмы оценивали в ~15,2 млн. т в 2005 г. и ~17,3 млн. т в 2017 г., соответственно [97]. Столь значительные объёмы образования этих отходов обуславливают необходимость разработки более инновационных решений по сравнению с имеющимися (частичное топливное использование, изготовление ряда обиходных изделий и предметов артизанта, применение в медицинских целях), достаточно подробно охарактеризованными в работах [47, 54, 76, 62, 81], для возможностей и ограничений, связанных с обращением с ними.

Текущую систему управления растительными отходами Мьянмы, находящуюся на начальном этапе развития, характеризуют отсутствие адекватных комплексной инфраструктуры и нормативно-правовой базы, неэффективные практики наряду с ненадёжными и нерегулярными услугами даже по сбору отходов,

несмотря на существующие различные подходы к использованию и переработке таких отходов, способствующие устойчивому развитию и минимизации негативного воздействия на окружающую среду [98, 99]. Эти обстоятельства представляют значительные препятствия в эффективном управлении растительными отходами.

Наряду с этим весьма значительные массы растительных отходов в стране (54 % от общей массы отходов) и их состав – многообещающие основы для инициатив по переработке и компостированию таких материалов [100]. Подчёркнут, в частности, потенциал анаэробного сбраживания (ещё в 2017 г. в странах юго-восточной Азии функционировало более 1040 биореакторов), обеспечивающий утилизацию подобных возобновляемых отходов и производство энергии [6], что соответствует мировым тенденциям в области устойчивого использования ресурсов, потенциально способствуя экономическому росту и экологической устойчивости в Мьянме [101]. Кроме того, компостирование растительных отходов и кормление их отдельными видами животных оказывают положительное влияние на качество почвы и производство животноводческой продукции [102].

В целом практика управления растительными отходами в Мьянме всё ещё не достигает уровня некоторых её соседей по юго-восточной Азии. Тем не менее, существует значительный потенциал для улучшения ситуации за счёт внедрения современных технологий, усовершенствования государственной политики и развития регионального сотрудничества, что может преобразить этот сектор в более эффективную, устойчивую и экономически выгодную систему [103].

Развитие производства углеродных адсорбентов из местных источников биомассы может стать важным шагом в направлении устойчивого развития и экономики страны, способствуя как её экономическому росту, так и улучшению в ней экологической ситуации.

Производство углеродных адсорбентов из растительных отходов представляет собой перспективное направление, способствующее устойчивому развитию и эффективному использованию собственного сырья [104]. Мьянма располагает обширными ресурсами, которые потенциально могут служить основой для производства углеродных адсорбентов, не только решая проблему утилизации

биомассы, но и создавая ценные продукты с высокой добавленной стоимостью [105, 106]. В целом, для реализации потенциальных возможностей в сфере производства углеродных адсорбентов в Мьянме необходимо устойчивое управление природными ресурсами и направление инвестиций в инновационные технологии.

1.4. Природоохранные проблемы современной Мьянмы

Республика Союз Мьянма – аграрная страна с постепенно развивающейся промышленностью, смешанной экономикой и низким уровнем производства. Субтропический климат Мьянмы и богатые почвы позволяют выращивать более 60 культур: от риса и сахарного тростника в центральном поясе до овощей в более умеренных зонах севера. Обрабатываемая земля составляет около четверти общей площади страны, около половины из которых в настоящее время возделываются из-за их доступности [107]. Примерно две трети населения Мьянмы по-прежнему зависят от сельского хозяйства в качестве источника средств к существованию. Учитывая, что сельское хозяйство является основой экономики страны и использует большую часть рабочей силы, создание современной механизированной сельскохозяйственной отрасли до недавнего времени было приоритетом правительства. Сельскохозяйственный сектор вносит 37,8 % в ВВП и генерирует от 25 % до 30 % экспортных доходов. Основным сельскохозяйственным продуктом в Мьянме является рис, который занимает около 60 % от общей площади обрабатываемых земель и составляет около 97 % от общего объёма производства продовольственного зерна по весу.

Myanma' Agri-business Public Company Limited «MARCO» в настоящее время занимается производством высококачественного риса, который не только реализуют на внутреннем рынке, но и экспортируют в различные международные регионы, включая Японию, Европу, Индонезию, Китай, а также страны Африки и Ближнего Востока под брендом «M.J. Rice». Качество продукции соответствует японским стандартам. В 2018–2019 финансовом году компания экспортировала более 3,48 млн. тонн риса [108].

Основная доля отходов сельского хозяйства и побочных продуктов, возникающих в результате лесозаготовок, разделки и иной механической обработки древесины, остаётся невостребованной и фактически оказывается на свалках. Текущие методы их переработки лишены системы и в некоторых случаях создают серьёзную угрозу для экологии.

Кроме того, Мьянма наделена исключительными минеральными ресурсами, включая ценные металлы, такие как золото, серебро, медь, никель, свинец, цинк и олово. Эти ресурсы представляют значительный потенциал для высокой прибыли для горнодобывающих компаний, готовых инвестировать в экономику страны. Текущие горнодобывающие операции осуществляют медный рудник Monywa (Мон Ява) и никелевый рудник TaguuTaung (ТагауунТаунг) [109]. Комплекс по добыче меди и свинца Мон Ява, включающий рудники Ла Падаунг, Сабель Таунг и Къяе Син Таунг, является крупнейшим предприятием по добыче меди в Мьянме, которое управляется в рамках партнёрства китайской компании Wan Bao Mining и правительства Мьянмы [110].

Изложенные факты подчёркивают серьёзные экологические риски, связанные с деятельностью горнодобывающей промышленности в районах, подверженных землетрясениям и наводнениям. Рудник, расположенный в пойме реки Чиндвин (Chin Dwin), уязвим к природным катастрофам, которые могут привести к разливу токсичных отходов. Инцидент с разливом содержимого хвостохранилища в ноябре 2015 года, повредивший сельскохозяйственные угодья деревни Вет Хме (Wat Mee), демонстрирует эти риски [111]. Обнаружение повышенного содержания вредных металлов, таких как мышьяк, медь и свинец, в образцах почвы подчёркивает долгосрочные последствия для окружающей среды и здоровья местных жителей. Эти факторы требуют внимательного мониторинга и разработки эффективных мер управления для минимизации негативного воздействия горнодобывающей отрасли на экосистему и людей [111]. Ущерб здоровью и экологии причиняется не только рудником и неправильным обращением с отходами, но и выбросами завода серной кислоты, связанного с комплексом Мон Ява. В результате деятельности этого

предприятия тысячи людей подвергаются риску ущерба здоровью и окружающей среде [112].

Экологически значимы и весьма распространены в крупных населенных пунктах Мьянмы, её портах и перевалочных станциях не имеющие в настоящее время в силу отсутствия контроля количественной оценки разливы нефти и ее производных, поступающие в различные водоемы [112].

Пример загрязнения окружающей среды, вызванного названным выше промышленным предприятием в современной Мьянме, является ярким иллюстративным случаем, хотя образование отходов, сбросов и выбросов характерно для множества производств в стране, имеющих разные направления. Для развивающейся Мьянмы решение этой проблемы без государственной поддержки представляется крайне сложным, что объясняется, в частности, высокими затратами на внедрение технологий очистки сточных вод и газовых выбросов, которые применяются в мировой практике и включают использование, среди прочих, химических реагентов и пористых углеродных адсорбентов, таких, в частности, как активированный уголь. Агентство по охране окружающей среды США (USEPA) признало адсорбцию с использованием активированного угля одной из наилучших доступных технологий для борьбы с загрязнением окружающей среды.

Высокая стоимость этих адсорбентов на мировом рынке, а также наличие в Мьянме обширной сырьевой базы в виде растительных отходов, подчёркивают необходимость проведения экспериментальной оценки целесообразности использования наиболее массовых из них для производства таких адсорбентов. Это может стать основой для организации собственных производств, которые обеспечат целевую продукцию по более низкой стоимости.

1.5. Углеродные адсорбенты как средства очистки и обезвреживания производственных выбросов и сбросов

1.5.1. Общие сведения об углеродных адсорбентах

Углеродные адсорбенты – обширный ансамбль различных твёрдых углеродных материалов в виде древесных углей, некоторых видов ископаемых углей, полукоксов, коксов, пеков и им подобных веществ, включая их представители с наиболее высокой концентрацией углерода – активные угли. Последние содержат углерод в количестве 87–97 % масс. (остальное – водород, кислород, азот, сера и вещества, введённые при получении) и, как правило, представляют собой высокопористые материалы с развитой поверхностью, обычно характеризующейся наличием разнообразных функциональных групп [113].

Активные угли являются разновидностью микрокристаллического углерода, основной структурный элемент которой – микрокристаллиты представлен графитоподобными агрегатами (длиной 2,0-2,5 и высотой 1,0-1,3 нм), содержащими кристаллические решетки графита в виде системы конденсированных ароматических колец, причём свойственная графиту строгая трехмерная упорядоченность элементарных гексагональных сетчатых слоев в них нарушена, на что указывают, в частности, непостоянство расстояния между этими слоями (0,34-0,37 нм) в отличие от графита, где оно составляет 0,3354 нм, и беспорядочное смещение названных слоев относительно друг друга. Беспорядочную слоистую структуру называют турбостратной. Другую важную составляющую активных углей представляет аморфный углерод. Наряду с данными видами углерода в этих адсорбентах присутствуют гетероатомы [114-116].

Активные угли являются единственными адсорбентами с неполярной (электронейтральной) поверхностью, что определяет их гидрофобность, выражающуюся, в частности, в том, что поглощение ими влаги из обрабатываемых сред весьма длительно (равновесие устанавливается в течение нескольких месяцев), в связи с чем влажность этих сред обычно слабо влияет на эффективность извлечения примесей из газовых и жидких объектов [114]. Негативная сторона обращения с

активными углями связана с их горючестью, обуславливающей необходимость соблюдения определённых предосторожностей, так как воспламенения, а иногда и взрывы на углеадсорбционных установках случаются при температурах, даже более низких, чем температуры интенсивного окисления угля на воздухе (обычно 250 °C и выше), что связывают, в частности, с образованием вследствие сероводородной коррозии аппаратуры пиррофорных соединений железа типа FeS и Fe_2S_3 , которые способны загораться при сравнительно низких температурах, являясь очагами воспламенения всей массы угля [76, 96, 114].

К настоящему времени предложено множество классификаций активных углей, что сопряжено с широким разнообразием реализуемых с их применением технологий и приёмов использования наряду с таковым связанных с ними требований к этим адсорбентам. Так, их классифицируют по форме (гранулированные, дроблёные, порошковые, углеродные волокна и ткани), типу сырья (каменноугольные, торфяные, древесные, косточковые, полимерные, из отходов), способу активации (парогазовой, газовой, химической, смешанной, с медленной и интенсивной карбонизацией), назначению и по ряду иных принципов [117–119].

Углеродные адсорбенты характеризуют сырьевой основой, гранулометрическим составом, насыпной плотностью, величинами зольности и механической прочности, значениями pH водной вытяжки, характером и содержанием примесей, а также рядом других технических показателей, позволяющих оценку их пористой структуры и поглотительной способности [116, 120]. Приёмы определения таких показателей в их большинстве стандартизированы, хотя ряд их, практикуемый в разных странах, имеет свои особенности. Гранулометрический состав, в частности, оценивают путём вибрационной активируемого просеивания представительной пробы зернистого материала через сита с ячейками определённых размеров. Последние выражают в мм и мешах (американская сетка системы USS и английская сетчатая система BSS) [118, 121], а при оценке прочности навеску угольных зёрен подвергают механическому истиранию во вращаемом стальном барабане при поджатии стальным стержнем, измеряя массу не распылённого остатка (в %), характеризующую прочность сорбента

(методика МИС-60 – 8 [120]), или раздавливанию, принимая в качестве меры прочности количество (в %) зёрен, оставшихся целыми.

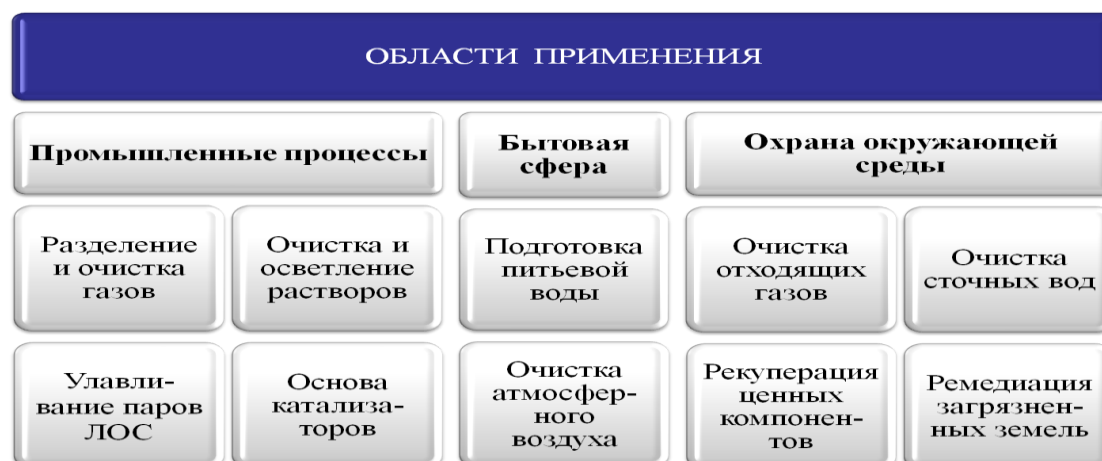
Ансамбль различных форм (частицы произвольного вида, таблетки, сферические и цилиндрические гранулы, порошки), удовлетворительной термической и химической устойчивости, гидрофобности, невысокой гравиметрической плотности, стабильности при хранении и ряда других показателей этих уникальных адсорбентов определяет крайне широкую область их использования, включающую обширный круг процессов, ориентированных на решение экологически значимых задач финишной очистки производственных выбросов и сбросов [76, 122, 123].

Привлекательной с экономических позиций технологической стороной применения дроблёных и формованных углеродных адсорбентов при решении многих практических задач является возможность их регенерации, многократного циклического использования и реактивации, сопряженными, однако, с определенными потерями этих материалов [8, 124].

В последние десятилетия в России значительное внимание привлекало соответствие качества производимого активного угля международным требованиям, в частности стандартам Американского общества по испытаниям и материалам (ASTM) и промышленным стандартам Японии (JIS) [125]. В этой связи весьма важными являются добровольная сертификация данной продукции по действующим в России ГОСТ Р (например, 22989–78) и наличие на неё сертификата от NSF (National Sanitation Foundation) – международной некоммерческой организации, базирующейся в США и охватывающей несколько десятков стран по всему миру [126].

Основные сферы масштабного использования данного вида адсорбентов охарактеризованы в таблице 5.

Таблица 5 – Основные области применения активных углей



Активированный уголь в Мьянме в основном используется для очистки воды и сточных вод, фильтрации воздуха, устранения запахов и восстановления окружающей среды. В стране развивается производственная база частных предприятия получения активированного угля, которая частично обеспечивает как внутренние промышленные потребности, так и экспорт [127, 128].

1.5.2. Сырье и технологии промышленного производства углеродных адсорбентов

Активированные угли могут быть получены практически из любого и обычно достаточно широко доступного углеродсодержащего сырья (ископаемые угли, древесина, остатки производства жидких топлив, карбиды металлов, сажа, изношенные РТИ, синтетические полимеры, отходы целлюлозно-бумажных, пищевых и сельскохозяйственных производств, торф и многие другие материалы), причём именно сырьё наряду с условиями активации оказывает определяющее влияние на структуру пор этих адсорбентов [129, 130]. Так, например, активные угли, получаемые из скорлупы орехов кокосовой пальмы, отличается большая доля микропор шириной < 2 нм, угли же на базе каменного угля характеризует большая доля переходных или мезопор шириной 2-50 нм, а таким же адсорбентам на основе древесины свойственна большая доля макропор шириной более 50 нм [116, 131]. Установлено также, что из материалов с большим содержанием лигнина

(виноградные, вишнёвые косточки) образуются активные угли с макропористой структурой, тогда как из сырья с более высоким содержанием целлюлозы (абрикосовые косточки, скорлупа миндаля и кокосовых орехов) – угли с преимущественно микропористой структурой [132]. Однако современные коммерческие производства активных углей, реализуемые индустриально развитыми странами, используют в качестве сырья ограниченный круг материалов указанного перечня, получая продукцию, технология изготовления которой, как правило, защищена соответствующей патентной документацией, а технические эксплуатационные (потребительские) свойства представлены в ряде специализированных каталогов, например [131], и на многочисленных сайтах интернета, например [132], в виде, как минимум, соответствующих прайс-листов.

Наиболее общим принципом активации - воздействия на указанное сырьё с целью получения углеродных адсорбентов является его селективная термическая обработка в определённых условиях, обеспечивающая формирование в целевом продукте трансформации исходного углеродсодержащего материала многочисленных пустот в виде трещин, щелей и пор различных форм и размеров, ансамбль которых создаёт определённую величину его удельной (отнесённой к единице массы или объёма) поверхности. При получении таких адсорбентов наиболее часто используют термические химические и парогазовые приёмы (способы) активирования [76, 117].

Химическое активирование применяют, как правило, при переработке не подвергшихся карбонизации сырьевых материалов (например, древесных опилок, торфов), смеси которых с неорганическими активирующими агентами подвергают обработке при достаточно высоких температурах. В качестве названных агентов используют обезвоживающие и другие вещества в виде кислот, щелочей и солей [117, 116, 128, 133].

Парогазовому активированию обычно подвергают карбонизированные природные материалы типа каменных и древесных углей, коксовые остатки пиролиза бурых углей, торфов, скорлуп орехов, косточек фруктов и многих иных органических отходов. Пиролиз (карбонизация), реализуемый в широком интервале температур

(~350-750 °C), приводит к формированию первичной пористости будущего активного угля, определяющей прочность его каркаса [118]. Результативность операций парогазового активирования сопряжена с содержанием в названных материалах летучих веществ и может быть сведена к нулю при его низких значениях, а способность к активированию – с наличием в них макропор, как транспортных каналов [116].

В качестве агентов парогазового активирования обычно используют кислород (воздух), водяной пар и диоксид углерода. Избирательный характер активирования кислородом (воздухом) связан с трудно управляемым риском внешнего обгара зёрен карбонизированного материала, вследствие чего предпочитают использование водяного пара и CO_2 [54, 116, 128, 133]. Технологически допустимая интенсивность активации этими агентами обычно связана с использованием температур порядка 800–1000 °C.

Термохимическая активация наиболее часто приводит к образованию грубо пористых активированных углей, обычно применяемых для обесцвечивания жидких технологических сред и потоков, а также при обеспечении ряда других задач. Вследствие же паровой активации возможно образование мелкопористых активированных углей, используемых для решения задач тонкой (глубокой) очистки названных и иных объектов [118].

Технологическими параметрами, обеспечивающими управление процессами пиролиза углеродсодержащих материалов и сырьевых композиций на их основе, являются интенсивность их нагревания, предельная температура и длительность их изотермической обработки при этой температуре. В число таких параметров применительно к активации карбонизированных материалов водяным паром входит его удельный расход, обычно относимый к единице массы карбонизированного или активированного продукта. Варьированием значений названных параметров изменяют выход и структурно-адсорбционные свойства соответствующих целевых продуктов [117, 128]. При этом естественно, что выход, структурные показатели и поглонительные свойства названных продуктов зависят и от вида и состава применяемого сырья, как это подчёркнуто выше, а также от типа используемого

активатора (особенно при химическом активировании) и от связанных с ним технологических особенностей [134, 135].

Углеродные адсорбенты, произведённые из различного сырья, могут иметь совершенно разные технические показатели и адсорбционные качества, несмотря на то что были приготовлены в практически одинаковых условиях. Так, таблица 5 демонстрирует некоторые различия в физических свойствах растительных сырьевых материалов, используемых при получении активных углей, наряду с текстурой последних и сферой их применения [136].

Таблица 6 - Физические свойства и состав некоторых видов сырья, используемых при получении активного угля

Сырье	Насыпная плотность, кг/дм ³	Содержание, % масс.			Текстура продукта	Возможное применение
		углерода	серы	зола		
Мягкая древесина	0.4-0.5	60-75	1,5-3	5-6,5	Мягкий, большой объем пор	Адсорбция из водной фазы
Ореховая скорлупа	1.4	55-63	-	0,3-2	Твёрдый, большой объем микропор	Адсорбция из паровой фазы

Общее представление о совокупности и последовательности выполнения ориентированных на получение активных углей технологических операций при пиролизе углеродсодержащих материалов и/или их сырьевых композиций и активации получаемых пиролизом карбонизированных остатков, как и об их аппаратном оформлении, может быть получено в ряде монографий, справочников, учебных пособий, каталогов [114, 128, 137–140] и многочисленных источников патентной информации [141–145]. Среди основных термических агрегатов в производствах углеродных адсорбентов используют печи различного типа и конструкции, причём наиболее распространены реакторы кипящего слоя, шахтные, многополочные, горизонтальные и вертикальные роторные печи [118, 146]. Вращающиеся печи представляют собой универсальные агрегаты для реализации процессов пиролиза и активации, поэтому именно их применяют наиболее часто.

При выборе активированного угля или иного углеродного адсорбента для обеспечения конкретных целей учитывают его текстурные параметры в виде суммарного (общего) объёма пор, удельной поверхности, объёмов мезо- и микропор с соотношением между ними, наличие и химическую природу функциональных кислородных групп наряду с отмеченными выше и некоторыми другими их показателями.

Коммерческие марки активных углей, фигурирующих на рынке адсорбентов и представленных многочисленными производителями и их посредниками, даже в случае однотипных представителей этих адсорбентов имеют различные обозначения в соответствующих прайс-листах. Основная номенклатура и ряд характеристик активных углей российского производства представлены в [115].

В научно-технической литературе последнего времени все более возрастающее внимание уделяется бурно развивающемуся направлению, связанному с группой углеродных материалов, часто обозначаемых как промежуточные формы углерода, в которых его атомы характеризуются sp^m -гибридизацией атомных орбиталей с дробным значением m ($1 < m < 3$, причём m не равно 2) [147], в отличие от закономерно ориентированных графитовых структур, в которых углеродные атомы находятся в sp^2 -гибридном состоянии [116, 118, 148]. Данную группу разделяют на две подгруппы, одна из которых включает углеродные моноциклы (циркулены), для которых $1 < m < 2$, а к другой относят углеродные материалы замкнутых каркасных структур с $2 < m < 3$ (в частности, фуллерены, нанотрубки, луковичный углерод [149]).

Сведения об использовании этих материалов в промышленных масштабах в доступных источниках информации в настоящее время отсутствуют [132, 147], однако имеется ряд публикаций [149-153], которые свидетельствуют о положительном влиянии включения весьма небольших добавок фуллеренов в активные угли, выражаемом в существенном увеличении адсорбционной способности модифицированных ими адсорбентов.

Следует отметить, что Правительство Мьянмы активно участвует в планах и проектах, связанных с растительным сырьём, уделяя особое внимание развитию агропромышленного сектора и решению его проблем. Так, проект развития

национальной продовольственной и сельскохозяйственной системы Мьянмы направлен на повышение производительности и диверсификации сельского хозяйства, имеющее решающее значение для увеличения эффективности переработки растительного сырья [154].

Организация Объединённых Наций по промышленному развитию (ЮНИДО) оказывает поддержку правительству Мьянмы в подготовке его промышленной стратегии и политики, ориентированную, в частности, на сотрудничество, направленное на улучшение переработки растительного сырья в рамках более широких усилий по промышленному развитию [155].

1.5.3. Объёмы производства и мировой рынок активных углей

По масштабам применения продукции глобальный рынок активированного угля подразделяют на рынки США, Европы, Китая, Японии, Юго-Восточной Азии, Индии и остального мира. Азиатско-Тихоокеанский регион образует крупнейший рынок с долей около 41 %. Америка является страной-лидером, на долю которой приходится около 30 % общего рынка. Мировой рынок активного угля оценивался в 3020,4 млн. долларов США в 2020 году, и ожидается, что к концу 2027 года он достигнет 4609,7 млн. долларов США, увеличившись в среднем на 5,8 % в течение 2021–2027 годов [156].

Объем производства активного угля во всем мире с 2015 по 2021 годы увеличился от 2,7 до 5,7 млн. метрических тонн и по имеющемуся прогнозу на 2022–2029 годы увеличится до 9 млн. м.т. [157].

Республику Союз Мьянма в настоящее время подобная статистика игнорирует из-за практического отсутствия собственного производства качественных углеродных адсорбентов, хотя выжигание угля из скорлупы орехов кокосовой пальмы широко распространено.

Потребности в наиболее остро необходимых Мьянме активных углях страна удовлетворяет за счет импорта. Согласно его объёмам, Индия, Китай и США являются тремя крупнейшими поставщиками этих адсорбентов, причём Индия занимает ведущее место в объёме поставок (всего более 40000 поставок), Китай

находится на втором месте (около 28000), а США замыкают эту тройку (примерно 20000), при этом согласно данным компании Volza по экспорту из Индии, с февраля 2023 по январь 2024 года пять индийских компаний отправили в Мьянму 101 т активного угля на основе скорлупы кокосовых орехов стоимостью примерно 658 000 долларов США для семи покупателей, хотя импорт колеблется по объёмам (до 100 %) в иные аналогичные периоды [158].

Эти в целом развивающиеся торговые отношения подчёркивают растущий спрос на активные угли в Мьянме. С использованием технологий Индии в Мьянме функционируют поставщики гранулированных и порошкообразных активных углей, получаемых из качественной скорлупы кокосовых орехов с использованием метода физической активации. Так, компании Innova Corporate и M.M.A Environmental Engineering предлагают ряд таких продуктов, предназначенных для различных целей [159] и более, влаги менее 10, летучих веществ около 10 и золы примерно 5; их удельная поверхность 400-1100 м²/г, а величины поглощения йода 450-1200 мг/г, что делает эти адсорбенты перспективными для использования материалами [11].

Действует в стране и компания «Rectangle Co., Ltd», имеющая собственную сравнительно маломощную фабрику в г. Зейявадди (район Таунггунгу), где по японской технологии производят активный уголь преимущественно из бамбука в количестве 20–30 т/год с целью экспорта [12, 54].

Развитие производства углеродных адсорбентов из местных источников биомассы может стать важным шагом в направлении устойчивого развития и экономики страны, способствуя как ее экономическому росту, так и улучшению в ней экологической ситуации.

Производство углеродных адсорбентов из растительных отходов представляет собой перспективное направление, способствующее устойчивому развитию и эффективному использованию собственного сырья [160]. Мьянма располагает обширными ресурсами, которые потенциально могут служить основой для производства углеродных адсорбентов, не только решая проблему утилизации биомассы, но и создавая ценные продукты с высокой добавленной стоимостью [161, 162]. В целом, для реализации потенциальных возможностей в сфере производства

углеродных адсорбентов в Мьянме необходимо устойчивое управление природными ресурсами и направление инвестиций в инновационные технологии.

Наряду с этим рыночная стоимость углеродных адсорбентов до последнего времени остаётся весьма высокой, что крайне ограничивает их применение, как в Мьянме, так и в других экономически отсталых государствах [13].

1.5.4. Приёмы утилизации растительных отходов с целью получения углеродных адсорбентов и показатели их эффективности

В зарубежных источниках научно-технической информации углеродные адсорбенты, полученные из растительных отходов и других видов биомассы преимущественно в виде карбонизированных продуктов, обозначают термином биоуголь, который в последние годы начали использовать и в русскоязычных публикациях. Основу подавляющего большинства термических технологий получения биоуглей составляет пиролиз названных отходов, в ряде случаев сопровождаемый парогазовой активацией его целевых продуктов, или он же применительно к сырьевым композициям, приготовленным различными приёмами из этих отходов и ряда реагентов (химическая активация) [163, 164]. Парогазовая (физическая) активация требует высоких температур и «мягкого» окислителя (водяной пар или CO_2). При химической активации используют более низкие температуры и сравнительно кратковременное воздействие используемых активирующих веществ (H_3PO_4 , NaOH , KOH , ZnCl_2 и другие реагенты) [14].

Хотя биоуголь является целевым продуктом названных технологий, летучие вещества и конденсаты пиролиза сырьевых материалов и/или их композиций обуславливают привлекательность процесса с позиций обеспечения энергией и расширения диапазона получаемых ценных веществ [15].

Основными компонентами большинства растительных отходов, как и древесины, являются гемицеллюлозы и лигнин. Известно, что они имеют сложные и разнообразные конфигурации в массе (теле) и клеточных стенках этих отходов [165], а их доля варьирует от одного вида отходов к другому, что обуславливает подчёркнутую выше зависимость свойств продуктов термической переработки

указанных отходов и их массовых отношений от используемого сырья [166]. В целом же названная термическая переработка позволяет превращать углерод исходных сырьевых материалов в ценные продукты.

Достаточно развёрнутое описание типичных этапов получения биоуглей с использованием пиролиза сельскохозяйственных и лесопромышленных отходов отражают работы [16, 17]. Техническая оригинальность этой технологии, обеспечивающей возможность получения наряду с биоуглем определённого ансамбля попутных (побочных) продуктов (таких, например, как уксусная кислота, спирт, смола и другие вещества), заключается в исключении использования ископаемого и иных видов внешнего топлива и в обеспечении энергией преобразования части карбонизированного продукта пиролиза (биоугля) в активированный уголь. Таким образом, подобная переработка обеспечивает возможность не только утилизации названных возобновляемых отходов, но и увеличения ее рентабельности.

Указанные этапы включают (1) приём и подготовку сырьевого материала (биомассы) к сушке (разгрузка, размещение на хранение, кондиционирование), (2) заполнение реторт кондиционированной биомассой и их помещение с помощью автоматизированного кранового оборудования в сушильные агрегаты с (3) последующим подсушиванием в течение ~24 часов при температуре от 70 до 110 °С, (4) перемещение реторт с подсушенным сырьём в печь пиролиза и (5) реализацию этого процесса в течение 6-8 часов при температурах от 450 до 850 °С, обеспечиваемых рекуперированными газами из предыдущих реторт (при этом избыток горючих газов можно отводить на когенерационную установку или использовать для иных целей), (6) удаление реторт с карбонизированным продуктом из печи пиролиза, (7) их охлаждение (естественным или принудительным путём, обеспечивающим возможность рекуперации значительного количества энергии) и (8) механическую разгрузку, (9) организацию затаривания и складирования биоугля с целью временного хранения и/или загрузки его части в реактор для проведения процесса активации водяным паром или химическим способом, (10) кондиционирование обоих углеродных материалов в соответствии со спецификой

требований к ним их потребителей, касающихся в основном физических форм продукции (гранулы, зерна различного вида, брикеты, таблетки, пиллюли, порошки), (11) ее упаковку в соответствии с предпочтениями покупателей и требованиями надзорных органов, (12) предпродажное хранение и (13) транспортную доставку клиентам.

Получаемое при пиролизе газообразное топливо можно использовать для производства тепла и электроэнергии с передачей их в соответствующие сети национальных теплоэлектроцентралей предприятий, что зависит от конкретной оценки затрат, а также соответствия местному законодательству и техническим параметрам. В большинстве же случаев произведённое тепло используют для сушки поставляемой биомассы, в местных системах централизованного тепло- и энергоснабжения или для покрытия иных собственных потребностей объекта. Ценные побочные продукты могут быть получены и из конденсируемой фракции горючих газов пиролиза, что может способствовать повышению экономической эффективности реализуемой технологии.

В доступных источниках информации имеется множество публикаций, содержащих информацию об использовании древесных и сельскохозяйственных отходов для получения углеродных адсорбентов хорошего качества. Значительная их часть характеризует переработку с этой целью так называемых плотных крупнотоннажных отходов различных, в основном пищевых, производств в виде скорлупы орехов (грецкого, кедрового, кокосового, лесного и т.п.) и косточек плодов и фруктов (абрикосов, винограда, маслин, персиков и т.п.) [18, 118, 131, 167-172].

Так, согласно данным [19] активный уголь на базе скорлупы кедрового ореха, подвергнутой пиролизу с активацией водяным паром его карбонизированного продукта в условиях, охарактеризованных в работе [18], имеет удельную поверхность $870 \text{ м}^2/\text{г}$. Оригинальной же переработкой того же сырья путём химической активации с использованием раствора H_3PO_4 , охарактеризованной в работах [173, 174], получен активный уголь, превосходящий коммерческий уголь марки БАУ по показателям осветляющей способности по метиленовому голубому и механической прочности на

33 и 12 % соответственно, что указывает на перспективность его применения с целью удаления из воды органических загрязняющих веществ [96, 173].

Ряд иных примеров получения из плотных растительных отходов углеродных адсорбентов с описанием их структурно-адсорбционных показателей и некоторых других свойств представлен в [175].

В работе [176] охарактеризованы активные угли, полученные химической активацией вишнёвых косточек и скорлупы лесного ореха (*Euryaleferox*) с КОН в потоке CO_2 и с ZnCl_2 , соответственно. Температура пиролиза косточек составляла 500 и 800, скорлупы – 500–700 °С, при этом суммарная пористость и удельная поверхность целевых продуктов изменились от 0,21 до 0,74 $\text{см}^3/\text{г}$ и с 361 до 1173 $\text{м}^2/\text{г}$ в случае указанной термической переработки косточек и достигли 1,96 $\text{см}^3/\text{г}$ и 2869 $\text{м}^2/\text{г}$ при пиролизе скорлупы. Адсорбенты на основе косточек, имеющие высокие величины поглощения метиленового синего и йода, рекомендованы для обработки сточных вод и адсорбции NO_2 и H_2S из газовой фазы, а таковые на базе скорлупы – для удаления вредных веществ из отходящих газов и сточных вод.

С этими же целями можно использовать масштабные отходы древесины различных пород в виде опилок, стружки, щепы, кусковых фрагментов деревянных тары, упаковки, утильной мебели и тому подобные материалы. Так, в работе [177], например, изучено получение активных углей из отходов производства мебели на базе древесины колумбийских тика (*Tectona Grandis*, числитель) и кедра (*Cedrela Angustifolia*, знаменатель), характеризующихся содержанием (в % масс.) углерода и золы, равным 15,67/15,41 и 0,41/0,83, соответственно. Некоторые структурные параметры карбонизированных продуктов пиролиза данного сырья и полученных из них активных углей, оценённые с привлечением низкотемпературной адсорбции азота и характеризующиеся данными таблицы 7, позволяют констатировать достаточно высокое качество этих адсорбентов.

Таблица 7 - Структурные параметры полученных углеродных адсорбентов

Материал	$S_{уд}$ (БЭТ), m^2/g	Диаметр пор, нм	Суммарный объём пор, cm^3/g
Карбонизат кедра	378,92	2,19	0,21
Карбонизат тика	311,51	0,17	0,17
Активный уголь (кедр)	1375,67	2,73	0,94
Активный уголь (тик)	996,65	2,55	0,63

В соответствии с данными работы [178] химической активацией древесины дуба (активаторы KOH, $ZnCl_2$, H_3PO_4 , H_2SO_4) и павлонии (лат. Paulownia) или Адамова дерева - многолетнего высокорослого (до 15-20 м) и быстрорастущего листопадного растения с очень крупными (20-50 см) листьями и красивыми нежно-фиолетовыми (иногда белыми) душистыми длиной до 30-50 см соцветиями (активатор KOH) при температурах пиролиза 750 и 800 °C, соответственно, получены активные угли с высокой удельной поверхностью (около 1300 и 1470 m^2/g , соответственно). Первые из них, имеющие суммарную пористость порядка 0,62 cm^3/g , как отмечено, могут быть использованы для очистки стоков, содержащих красители, а вторые – для приготовления даже электродных материалов и суперконденсаторов.

Снижение себестоимости производства активного угля, как отмечено в работе [179], представляет собой серьёзную проблему при его получении и реализации. В ней подчёркнуто, что решению данной задачи может способствовать использование микроволнового нагрева перерабатываемых материалов наряду с обычным печным и/или вместо него. Выявлению качества целевого продукта такой переработки, обосновывающему подчёркнутое выше, посвящено выполненное в работе исследование оптимальных условий получения активного угля из широкодоступного в Малайзии сельскохозяйственного отхода в виде коры пальмы (ПКС), являющейся оболочкой ее ядра. Данное сырье, пропитанное фосфорной кислотой, подвергали пиролизу в СВЧ-печи, варьируя управляющие факторы мощности и времени облучения, что наряду с изменениями концентрации

пропиточного вещества и соотношения пропитки сырья кислотой использовали при оптимизации процесса методом Тагути.

Совокупность полученных в этой работе экспериментальных результатов позволяет заключить, что оптимальными значениями управляющих факторов являются 800 Вт для мощности СВЧ, 17 минут для времени облучения, 2 для коэффициента пропитки и 85 % для концентрации фосфорной кислоты. Активный уголь, полученный при таких условиях, обладает высокой удельной поверхностью по БЭТ (несколько более $1473 \text{ м}^2/\text{г}$) и развитой пористой структурой, о чем свидетельствуют приведённые в статье характеризующие наличием гистерезиса изотермы низкотемпературной адсорбции и десорбции им азота, указывающие на принадлежность кривой адсорбционного равновесия к изотерме IV типа.

Наряду с этим в работе проведена оценка эффективности адсорбции названным активным углём красителя метиленового синего из его водных растворов. Ее итогами установлена возможность удовлетворительного описания полученных кинетических и равновесных данных посредством соответственно кинетической модели псевдo-второго порядка и изотермы Ленгмюра. В соответствии с последней максимальная способность полученного адсорбента к фиксации данного красителя составляет по массе 1:1 или 1000 мг/г, что является достаточно весомым аргументом в пользу справедливости приведённого выше утверждения о возможности снижения себестоимости продукции при использовании СВЧ-излучения.

Активный уголь получен методом химической активации и из древесины кокосовой пальмы. В работе [180] он использован для извлечения двухвалентных ионов токсичных тяжёлых металлов (Hg, Pb, Cd, Ni и Cu) из производственных сточных вод. Авторы отмечают, что адсорбция этих ионов увеличивается с ростом pH от 2 до 6 и остаётся далее неизменной вплоть до pH 10, заключая, что использованный адсорбент может представлять собой достаточно экономичное средство решения подобных задач.

В работе [181] охарактеризованы свойства активных углей на базе опилок фисташковой древесины и фисташковой скорлупы, полученных с привлечением методов физической (паровой) и химической (с использованием KOH) активации, при

извлечении из водных растворов органических веществ. Структурные показатели этих адсорбентов (пористость и удельная поверхность) оценены методами БЭТ и t -plot на основании полученных изотерм низкотемпературной адсорбции ими азота. Выявлено, что значение удельной поверхности по БЭТ у них достигает 1009–1096 м²/г, а наличие мезопор составляет от 9 до 15 и от 33 до 49 % при паровой и химической активации, соответственно. Исследованиями кинетики и равновесия адсорбции этими углями дубильных кислот, красителя метиленового синего, 4-хлорфенола и фенола из воды при 30 °С обнаружено, что в сравнении с КОН-активированными углями интенсивность адсорбции углями, активированными водяным паром, существенно выше, а скорость внутренней диффузии значительно ниже. Установлено, что модель внутренней диффузии лучшим образом соответствует всем процессам адсорбции, а уравнение изотермы Фрейндлиха больше пригодно для интерпретации адсорбционного равновесия, чем уравнение Ленгмюра.

Древесина ряда кустарников также пригодна для переработки на углеродные адсорбенты, о чем свидетельствует, в частности, содержание патента [20], согласно которому пиролиз щепы саксаула, имеющей лишь топливное использование, проведённый её нагреванием с интенсивностью 26 °С/мин до 750-850 °С с последующей активацией полученного целевого продукта при этих температурах водяным паром в течение 30-45 минут приводит к получению зернённых активных углей весьма удовлетворительного качества. Их выход высок, составляя 22–30 %, при показателях суммарной пористости, удельной поверхности и поглотительной способности по йоду, составляющих 0,96–3,96 см³/г, 1000–2100 м²/г и 60-96 %, соответственно.

Количество финиковых пальм в Саудовской Аравии – крупнейшей из стран-производителей фиников в мире превышает 18 миллионов. Уход за этими деревьями приводит к образованию примерно 75000 т в год только пальмовых листьев. Доступность и малая ценность таких отходов определяют принципиальную возможность их сжигания с целью, в частности, производства электроэнергии, хотя это негативно сказывается на состоянии окружающей среды. В качестве альтернативы вероятно возможного решения данной проблемы в работе [182] такие

отходы исследованы, как сырье для получения активированного угля путём химической активации.

С привлечением термографии здесь показано, что выше 400 °С имеет место существенная термическая деструкция этих отходов, сопряжённая с образованием оксидов углерода и других летучих веществ. Образцы сырья, замоченные в фосфорной кислоте различной концентрации (20, 40, 60 и 80 %), в фарфоровых ёмкостях размещали в муфельную печь, где сушили в течение 2-х часов при 100 °С, после чего подвергали пиролизу при 400 °С в течение 3-х часов. Извлечённые из печи и остывшие образцы последовательно обрабатывали отдельными порциями дистиллированной воды с целью удаления избытка активатора с обеспечением итоговой величины рН в промывной воде, равной 7, после чего высушивали при 110 °С до постоянной массы и оценивали качество полученных активированных углей.

Совокупностью результатов работы констатировано, что использование фосфорной кислоты концентрацией 60 % обеспечивает максимальную величину удельной поверхности получаемого активного угля, составляющую 1139 м²/г (для использованных листьев финиковой пальмы она не превышает 4,6 м²/г). В качестве привлекательных свойств полученных адсорбентов в работе отмечены их высокая катионообменная способность, термическая стабильность и химическая стойкость, представлены наглядные свидетельства их развитой пористой структуры.

Одревесневшие полевые остатки выращивания хлопчатника после сбора урожая хлопка в виде стеблей, коробочек и цельных кустов растений, измельчённых до частиц фракции 0,25–1,50 мм, согласно информации работ [184-186] подвергнуты пиролизу при 500-800 °С в снабжённом электрическим нагревом стальном трубчатом реакторе объёмом 0,4 дм³, куда помещали 100 г соответствующего сырья. Результаты проведённых исследований показали, что при увеличении температуры выход твёрдого остатка у цельных растений снижается с 40,08 до 29,91 %, гравиметрическая плотность и адсорбционная активность по йоду увеличиваются с 0,38 до 0,47 г/см³ и с 14,85 до 34,95 %, соответственно, а суммарный объем пор по воде, проходя через максимум при 600 °С, в целом неоднозначно меняется с начальных 0,71 до конечных 1,43 см³/г. Таким образом, поглотительная способность охарактеризованных

продуктов пиролиза не обеспечивает показателей коммерческих активных углей. Адсорбционная же активность всех целевых продуктов пиролиза хлопковых коробочек по красителю метиленовому голубому близка 150 мг/г, что обеспечивает возможность их использования для очистки сточных вод без дополнительной активации.

Прядением микрофибрилл разволокненных стеблей бамбука в Китае получают нити, карбонизация которых при 1200 °С приводит к образованию уникальных углеродных волокон, характеризующихся долговечностью (в частности, устойчивостью к стирке), прекрасной газопроницаемостью, великолепным поглощением вредных веществ и неприятных запахов наряду с гипоаллергенностью, выражаемой антибактериальными и противогрибковыми свойствами. В этой же стране из фрагментов стволов бамбука старше 5-летнего возраста путём пиролиза при температурах 800–1200 °С с XV века производят дроблёные переходнопористые активные угли с величиной удельной поверхности около 600 м²/г [187]. Указано на возможность получения путём его химической активации с H₃PO₄ или K₂CO₃ при 700–850 °С активного угля с суммарным объёмом пор ~1,2 см³/г и удельной поверхностью, превышающей 2200 м²/г, эффективного при извлечении из водных растворов ципрофлоксацина – антибиотика, используемого для борьбы с рядом бактериальных инфекций.

В работе [188] указано на ценность бамбука, как обширного и недорогого представителя природных ресурсов Малайзии. В ней исследован процесс очистки от красителя метиленового синего его водных растворов с использованием активного угля, полученного из древесины этих растений посредством физико-химической активации с использованием KOH и CO₂, как активирующих агентов, путём пиролиза сырьевой композиции при 850 °С в течение 2-х часов. Кинетические и равновесные показатели, собственно, углеадсорбционной очистки воды от названного красителя оценены при 30 °С, причём для оценки интенсивности процесса привлечены две упрощённые кинетические модели в виде уравнений псевдо-первого и псевдо-второго порядка. Выявлено, что последнее аппроксимирует процесс адсорбции данного красителя лучшим образом, в связи с чем расчётным путём установлены

кинетические параметры этой наиболее подходящей модели, что завершено их обсуждением. Равновесие адсорбции в характеризуемой системе хорошо описывает уравнение Ленгмюра, с использованием которого определена максимальная ёмкость монослоя поглощённого красителя, составляющая 454,2 мг/г.

Согласно [189] биоуголь, подобный ископаемым углям, можно получать практически из любого вида биомассы – биомусора, древесных опилок, навозной жижи, опавшей листвы и тому подобных малоценных и обременительных материалов, трансформируя их углерод в возобновляемый источник энергии в соответствии с технологией так называемого холодного обугливания (температура не превышает ~ 200 °C), часто называемого гидротермальной карбонизацией, разработанной в ФРГ и реализуемой в периодическом режиме в течение 6-12 ч за счёт применения катализаторов (например, лимонной кислоты или солей железа, которые способствуют выделению воды из углеводов биомассы). Её главным недостатком является необходимость охлаждения реакционной ёмкости перед опорожнением, что делает технологию в настоящее время малоприменимой для промышленного использования в виде непрерывного процесса. Целесообразность вероятной трансформации полученных по указанной технологии углей в углеродные адсорбенты в работе [189] не оценена.

Альтернативой является переработка различных видов биомассы в углеродные адсорбенты с привлечением традиционных технологий пиролиза и активации.

Так, в работе [190] охарактеризована группа изобретений, относящихся к быстрому вихревому окислительному пиролизу отходов растительной биомассы, согласно которым может быть обеспечено получение сорбентов на биоугольной основе. На установке, базирующейся на этой группе изобретений, из лузги подсолнечника получены мелкозернистые биосорбенты насыпной плотностью примерно 90–100 кг/м³ с влажностью на рабочую массу 6,1–6,5 %, зольностью 3,0–3,9 % и выходом летучих веществ 18,7–23,0 %. Элементный состав их сухой беззольной массы характеризует наличие (в % масс.) 71,4–74,8 углерода, 22,0–24,8 кислорода, 2,6–3,0 водорода, 0,9 азота и 0,1 серы при низшей теплоте сгорания 6050–6270 ккал/кг и себестоимости производства около 2500 руб. за тонну. Полученные сорбенты

имеют хорошую нефтёмкость (на уровне 3,8–4,0 г/г), что позволяет рекомендовать их для очистки грунтов и вод от загрязнений углеводородами и тяжёлыми металлами (способность к поглощению нефти измельчённой лузги подсолнечника составляет 1,6 г/г).

В названной выше работе [178] представлены сведения о результатах химической активации биомасс в виде отходов ананасов, чая и производства сахара из тростника (багассо). Пиролиз этих отходов с активаторами $\text{ZnCl}_2\text{-H}_3\text{PO}_4$, $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-KOH}$ и HNO_3 при температурах пиролиза 500, 450/800 и 800 °С, соответственно, обеспечил получение активных углей, характеризующихся суммарным объёмом пор 9,56, 0,965/0,05 и 0,678 см³/г при величинах удельной поверхностью около 915, 1327/1125 и 806 м²/г, соответственно. Возможными направлениями использования этих адсорбентов обозначены: удаление красителей из сточных вод (для углей из ананасовых отходов), изготовление электродных материалов в суперконденсаторах (для углей из отходов чая) и применение в качестве дешёвых и ёмких поглотителей тяжёлых металлов (для углей на основе багассо).

Другая разновидность твёрдого отхода производства тростникового сахара – меюю использована для получения активного угля в работе [191]. Сырьё (навеска 20 г) в виде тонких растительных волокон длиной 0,25–0,40 мм (гравиметрическая плотность 0,1 кг/дм³, зольность 3 %) подвергали пиролизу в размещённом в вертикальной электропечи кварцевом трубчатом реакторе внутренним диаметром 34 мм при температурах 450–650 °С до завершения выделения газов разложения. Получаемый уголь-сырец активировали водяным паром при 850–900 °С в течение 30–60 минут, используя метод математического планирования (ПФЭ 2²) и величину поглощения паров бензола в качестве фактора оптимизации. На основании полученных результатов установлено, что пиролиз сырья наиболее целесообразно проводить в интервале температур 500–600 °С, обеспечивающих сокращение длительности термообработки и 35 %-ный выход целевого продукта с суммарной пористостью ~0,08 см³/г. Касательно паровой активации констатируется, что оптимальные результаты обеспечивает 30-минутная длительность процесса при 900

°C, обуславливающая получение порошкового активного угля с суммарным объёмом по.

Оба углеродных адсорбента обладают ионообменной способностью. Анионо- и катионообменные свойства карбонизированных продуктов пиролиза (числитель) и полученных из них активных углей (знаменатель) составляют 2,0/1,2 и 2,3/3,0 мг-экв/г, соответственно. Наряду с этим в работе освещены элементный состав полученного активного угля и размер частиц этого адсорбента. С применением метода дробного факторного эксперимента, основанного на использовании разных полуреplik (2^{6-3} и 2^{4-1}), оценены показатели эффективности извлечения из ряда растворов загрязняющих веществ органической и минеральной природы с выявлением соответствующих кинетических и равновесных характеристик, а также предельный объем его микропор. Предложена принципиальная технологическая схема безотходного производства сахара из тростника и проведены ориентировочные технико-экономические расчёты, свидетельствующие о возможности обеспечения при реализации такого производства экологических и экономических эффектов значительных размеров в сахарной промышленности Кубы [189].

Существо достаточно многочисленных публикаций в доступных источниках информации свидетельствует о возможности получения из отходов растительного происхождения довольно высококачественных углеродных адсорбентов с весьма хорошими поглотительными свойствами, обеспечивающими их конкурентоспособность при применении в решениях многих задач очистки и обезвреживания производственных выбросов и сбросов.

Массы образования растительных отходов практически неисчерпаемы в качестве сырья для переработки в углеродные адсорбенты и являются возобновляемым сырьевым ресурсом. Некоторые аспекты получения активированных углей из большого количества природных доступных и недорогих материалов и сельскохозяйственных отходов рассмотрены в обзорах [192, 193]. В них подчёркнуто, в частности, что с данной целью широко используют как химические, так и физические (в том числе с нагревом микроволновым излучением) методы активации, а стоимость активированных углей, приготовленных из биоматериалов,

является весьма низкой по сравнению с таковой коммерческих активированных углей [62].

В качестве примеров эффективности подобных материалов наряду с цитированными выше целесообразно отметить работы, связанные с использованием активных углей на базе отходов переработки растительной продукции в виде уплотнённого сырья [12, 22, 23, 195-209].

Анализ содержания этих публикаций подтверждает, что биомассу представляют собой самые разнообразные отходы растительного происхождения. В названных выше работах, например [194, 195], отмечена возможность получения из оболочек (капсул) семян цветков камелии *Oleifera* ([лат.](#) *Camellia*) – вечнозелёного растения семейства Чайные (*Theaceae*), обработанных H_3PO_4 , пиролизом при 450 °C хорошо поглощающих краситель метиленовый синий и йод активных углей с суммарной пористостью и удельной поверхностью несколько более 1,1 см³/г и 1600 м²/г, соответственно.

В исследованиях авторов [210, 211] оценено поглощение 2,4,6-трихлорфенола активным углём, полученным из пустой плодовой грозди масличной пальмы. Исследовано влияние на адсорбцию начальной концентрации, времени перемешивания, pH раствора и температуры. Установлено, что поглощение более благоприятно при кислом pH и растёт с увеличением начальной концентрации, времени перемешивания и температуры раствора. Данные о равновесии адсорбции лучше всего отражают изотермы Фрейндлиха и Редлиха–Петерсона, а кинетика адсорбции следует модели псевдо-второго порядка. Механизм адсорбционного процесса определён на основе модели внутренней диффузии. Определены такие термодинамические параметры, как стандартные энтальпия, энтропия и свободная энергия, а также энергия активации. Показана возможность регенерации отработанного активного угля с высокой эффективностью, обеспечивающей десорбцию в размере 99,6 %.

Активный уголь, полученный из опилок ротанга (ACR, представителя лиан - вьющихся пальм, насчитывающих несколько сотен видов [210, 211]), в работе [210] испытан в очистке воды от красителя метиленового синего. Констатировано, что

адсорбционное равновесие в этой системе обеспечивается практически за сутки. Установленные экспериментальные данные по равновесию обработаны с использованием уравнений Фрейндлиха и Ленгмюра. Выявлено, что они лучше согласуются с моделью Ленгмюра, с привлечением уравнения которой определена ёмкость монослоя, выраженная величиной ~ 294 мг/г. Изученные характеристики интенсивности развития процесса хорошо соответствуют кинетической модели псевдо-второго порядка. На основании изложенного подчеркнуто, что активный уголь на основе отходов древесины ротанга может служить сравнительно дешёвой альтернативой коммерческим адсорбентам при очистке сточных вод от названного красителя [85].

Многочисленные иные источники научно-технической информации свидетельствуют о возможности переработки значительного ансамбля разновидностей и других растительных отходов на эффективные во многих отношениях углеродные адсорбенты.

Так, работа [213] представляет собой весьма обстоятельный обзор по получению активированных углей из сельскохозяйственных отходов. В ней на основании анализа большого числа специализированных публикаций охарактеризованы физические свойства сельскохозяйственных отходов, обсуждены их вещественные составы (содержание целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина), рассмотрено влияние на них температур карбонизации и активации, времени термического воздействия, различных активаторов и коэффициентов пропитки, сопоставлено их влияние на текстурные свойства целевых продуктов, такие как площадь поверхности и объем пор. Констатируется, что дешёвые и возобновляемые сельскохозяйственные отходы могут быть эффективно преобразованы в сравнительно дорогостоящую продукцию – пористые углеродные адсорбенты. Подчеркнуто, что тип и структура исходного материала (прекурсора) играют первостепенную роль во влиянии на качество, характеристики и свойства получаемого активированного угля. Указано, что выбор сырья для этого производства в основном зависит от его цены, чистоты, потенциальной пригодности и стабильности поставок, причём любой недорогой материал с высоким содержанием углерода и низким содержанием неорганических

веществ может быть использован в качестве принципиально пригодного сырья для этой цели. Среди подобных материалов в качестве перспективных отмечены кукурузные початки, оболочки ядер фундука, оливковые косточки, жожоба (симмондсия), древесина и древесные опилки, скорлупа кокосового ореха, багассо, бамбук, рисовая шелуха, ил очистки стоков бумажных фабрик, жом сахарного тростника, кожура ряда плодов и многие другие сельскохозяйственные отходы.

Наряду с этим в обзоре указано, что некоторые из отмеченных активирующих реагентов (ZnCl_2 , H_3PO_4 , H_2SO_4 , K_2S , KCNS , HNO_3 , H_2O_2 , KMnO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, NaOH , KOH , K_2CO_3) могут растворять целлюлозные компоненты прекурсора и способствовать образованию поперечных связей, а сама химическая активация демонстрирует больше преимуществ по сравнению с физической активацией. Она требует более низких температур, обеспечивает более высокий выход целевого продукта, имеющего более развитую удельную поверхность с хорошо развитой микропористостью, и включает лишь одну ключевую стадию по сравнению с физической активацией. Однако химической активации свойственны и некоторые недостатки, такие как необходимость промывки продукта для удаления примесей активирующих агентов, а также коррозионные свойства ряда из них.

Особо подчеркнуто, что для активации лигноцеллюлозных материалов обычно используют ZnCl_2 и H_3PO_4 , причём H_3PO_4 более предпочтительна из-за неблагоприятного воздействия ZnCl_2 на окружающую среду и невозможности применения в пищевой и фармацевтической промышленности активных углей, полученных с его использованием.

Обзор завершён перечислением ряда сфер применения активных углей и выводами, констатирующими возможность получения из сельскохозяйственных отходов относительно недорогих активных углей с большой площадью поверхности, высокой микропористостью и селективностью, способных эффективно конкурировать с коммерчески производимыми адсорбентами во многих областях применения. Указано на необходимость доказательства ценности таких продуктов путём детальных исследований их производства, оптимизации и применения.

1.5.5. Аспекты обоснования целесообразности исследования выбранных отходов в качестве сырья для получения углеродных адсорбентов

Сочетание разнообразных физических форм высокопористых углеродных материалов (зерна произвольной формы, таблетки, сферические и цилиндрические гранулы, порошки и т.п.), хорошей химической и термической устойчивости, стабильности при хранении, гидрофобности, невысокой гравиметрической плотности и ряда других показателей этих уникальных адсорбентов определяет крайне обширную область их использования, включающую, в частности, широкий круг процессов, связанных с решением экологически значимых задач финишной очистки производственных выбросов и сбросов [116, 121, 122].

Выбор отходов, перечисленных выше в подразделе 1.3, для предполагаемого успешного обеспечения обозначенных целей исследований наряду с масштабностью их образования и низким уровнем полезного использования в значительной степени базируется на имеющейся информации относительно получения и применения конкурентно способных углеродных адсорбентов, полученных из растительных масс родственных им по природе и в ряде случаев аналогичных по источнику образования, о чем свидетельствуют данные работ [214-221].

Так, работа [222] характеризует активный уголь, произведённый путём химической активации из зелёной скорлупы орехов кокосовой пальмы. Состав и ряд структурных характеристик использованного сырья и названного адсорбента отражают данные таблиц 7–9.

Таблица 8 - Вещественный состав сырья и активного угля (в % масс.)

Образец	Влага	Летучие	Углерод	Зола
Сырье	11,834	44,960	40,633	2,564
Активный уголь	2,983	17,208	78,907	0,902

Таблица 9 - Элементный состав сырья и активного угля (в % масс.)

Образец	C	H	N	S	O
Сырье	41,185	9,416	5,99	33,385	10,024
Активный уголь	72,040	2,963	1,16	23,791	0,046

Таблица 10 - Параметры пористой структуры сырья и активного угля

Образец	Удельная поверхность по БЭТ, м ² /г	V _Σ , см ³ /г	V _{ми} , см ³ /г	Удельная поверхность микропор, м ² /г	Радиус пор, Å
Сырье	59,728	0,0532	0,000	0	16,8461
Активный уголь	995,799	0,4487	0,372	921,71	9,01198

Авторы этой публикации указывают на весьма высокую термическую стабильность полученного адсорбента, возможность обеспечения с его использованием степени очистки от красителя метиленового синего его водных растворов, превосходящей 90 %, и на его хороший потенциал как агента очистки дымовых выбросов от углекислого газа и различных стоков от примесей органических веществ.

В работе [223] в качестве адсорбента для периодического удаления из промышленных стоков ионов тяжёлых металлов (двухвалентных меди, ртути и свинца) использован активный уголь, полученный из отходов производства пуговиц из скорлупы орехов кокосовой пальмы. Собственно адсорбент охарактеризован результатами его элементного анализа, рентгеновской дифракции, инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованием, потенциометрического титрования, сканирующей электронной микроскопии, данными оценки удельной поверхности, термогравиметрии и дифференциального термического анализа. В статье описано влияние на эффективность сорбции названным активным углём дозы адсорбента, начальной концентрации указанных ионов металлов, величины pH раствора и времени контакта фаз. Подчёркнуто, что хороший адсорбционный потенциал для Pb и Cu адсорбент демонстрирует при pH 6,0, а для Hg - при pH 7,0. Изученные

кинетические зависимости наиболее соответствовали уравнению псевдо-второго порядка, чем псевдо-первого порядка. Результаты оценённого равновесия для всех трех металлов оказались более соответствующими уравнению изотермы Фрейндлиха нежели таковой Ленгмюра.

Авторами работ [76, 224] исследованы процессы пиролиза при 300–800 °С в токе CO₂ плотного сырья в виде отходов переработки урожаев риса (рисовой шелухи) и абрикосов (абрикосовых косточек) с получением углеродных материалов (карбонизатов), эффективных при удалении из воды плавающих и эмульгированных нефти и нефтепродуктов.

Углеродные адсорбенты, полученные из шелухи риса путём её химической активации, охарактеризованы в работе [225]. Размолотое сырьё пропитывали фосфорной кислотой, используемой в количестве 30–70 % по массе, и подвергали карбонизации при 400 и 500 °С. Целевые продукты исследовали с привлечением метода низкотемпературной адсорбции азота и оценивали их активность при извлечении йода и красителя метиленового голубого из их водных растворов. Из изотерм адсорбции-десорбции паров азота при 77 К оценены величины удельной поверхности по БЭТ, общего объёма пор и поверхности микро- и мезопор полученных адсорбентов [226]. Констатировано, что наиболее качественные из них получены при степени пропитки РШ 50 % и температуре карбонизации 400 °С. Относительно низкие величины поглощения йода и метиленового голубого обусловлены очень высоким (до 50 %) содержанием золы.

В Южно-Казахстанском государственном университете им. М. Ауэзова выполнено исследование [227] в котором отмечено, что ресурсы непищевого углеводсодержащего сырья в виде полисахаридов весьма велики, так как находятся в отходах переработки растительного сырья, составляющих сотни миллионов тонн, и, главное, ежегодно возобновляются, в отличие от традиционного химического сырья. По этой причине авторы считают весьма перспективными отходы возделывания хлопка, в основной массе представляемые гуза-паей, миллионы тонн которой остаются на хлопковых плантациях в Центральной Азии и Южном Казахстане после уборки хлопка. Масса гуза-пай достигает 80 % урожая этой культуры (хлопка-сырца).

В сравнительно небольших количествах такие отходы население использует на топливные нужды, иные же направления утилизации гуза-паи не нашли сколько-либо масштабного практического применения [62]. Довольно часто такие отходы сжигают прямо на плантациях, в большей степени запахивают в почву. Последнее, особенно в случаях, когда подобные растительные остатки заражены, сопряжено с риском передачи с ними последующим вегетациям этой сельскохозяйственной культуры в основном технической ориентации её болезни, называемой вилтом и представляющей собой бич хлопководства.

Наряду с этим имеется ряд свидетельств успешной переработки гуза-паи в активные угли [67, 228, 229].

С применением метода математического планирования эксперимента (регрессионной модели второго порядка) в работе [229] исследован процесс адсорбционного извлечения свинца (II) из водных растворов их обработкой углеродным адсорбентом, полученным из древесины тамаринда химической активацией с хлоридом цинка. Цель оптимизации заключалась в улучшении условий реализации процесса, реализуемого в периодическом режиме, а именно в минимизации дозы адсорбента и установлении максимально целесообразной исходной концентрации свинца (II).

В результате проведённых исследований установлено, что «оптимальные значения дозы адсорбента, температуры, начальных величин концентрации свинца (II) и pH его раствора составляют 1,44 г/л, 50 °С, 49,23 мг/л и 4,07, соответственно. При этих показателях обеспечивается высокое (> 99 %) извлечение свинца (II). Таким образом, охарактеризованный метод, как отмечают авторы, является одним из подходящих средств оптимизации условий реализации адсорбционного извлечения свинца из его водных растворов» [229].

В работе [230] охарактеризован дешёвый активный уголь, полученный из опилок древесины сливы (зизифусового мармелада) химической активацией фосфорной кислотой, и выполнена оценка его использования для удаления ионов Cr (VI) из водных растворов при различных значениях pH раствора, времени контакта фаз, начальной концентрации, дозы угля и температуры. Установлено, что поглощение

ионов Cr (VI) сильно зависит от величины pH раствора, увеличиваясь с ее уменьшением, и растёт с увеличением температуры, начальной концентрации и времени контакта фаз до установления сорбционного равновесия. Кинетические уравнения псевдо-второго порядка и модель изотермы Ленгмюра более всего подходят для описания полученных экспериментальных данных. Использованный уголь можно регенерировать путём обработки раствором соляной кислоты. Результаты сопоставления с другими адсорбентами свидетельствуют, что полученный из названных опилок активный уголь является эффективным и экологически чистым адсорбентом для удаления ионов Cr (VI) из водных растворов.

В работе [231] отмечен ряд преимуществ лигноцеллюлозных отходов, результирующих переработку урожая сельскохозяйственных культур и плодов, как сырья для получения активированных углей, связанных с их широкой доступностью и представляющих интерес ансамблем физико-химических свойств. Указано, что биомассы косточек сливы и плодов жакаранды представляют собой альтернативные лигноцеллюлозные предшественники (прекурсоры) для получения активированного угля. Жакаранда - красиво цветущее дважды в год дерево высотой до 30 м родом из субтропических и тропических районов Америки, дающее плоды в виде сухих и жёстких на ощупь стручков светло-коричневого цвета кругловатой формы, имеющих внутри семена черного цвета [232].

В работе [232] сообщается о результатах исследования названных биомасс сливы (*Prunus domestica*) и жакаранды (*Jacaranda mimosifolia*) в качестве сырья для получения активных углей, способных к обесцвечиванию водных растворов, содержащих коммерческие красители (кислотный синий и метиленовый синий), и удалению ионов свинца (Pb^{2+}). Здесь описаны методики получения активированных углей путём прямой карбонизации биомассы при 800 °C и ее пропитки перед карбонизацией раствором кальция, полученным из яичной скорлупы. Результаты свидетельствуют, что оба способа обеспечивают получение адсорбентов с примерно 10-кратно увеличенной поглотительной способностью по названным красителям по сравнению с таковой исходных прекурсоров. В целом, как подчёркнуто, активированные угли на базе косточек слив демонстрируют лучшие показатели при

извлечении из воды указанных загрязняющих веществ (до 100 % выше, чем у адсорбентов, полученных из косточек плодов жакаранды).

Косточки сливы (мармелада сорта ziziphus) и семена манго в работе [219] использованы в качестве сырья для получения активных углей. В ней отмечено, что адсорбцию в качестве крупномасштабного промышленного физико-химического метода разделения используют в течение многих лет, а активированный уголь весьма успешно применяют для удаления примесей из потоков выхлопных газов и сточных вод. Указанные отходы трансформированы термической переработкой в названные адсорбенты, эффективность которых оценена в адсорбции из водного раствора красителя метилового красного. Установлено, что процент адсорбции растёт по мере увеличения дозы угля и является функцией размера фракции его зёрен. При этом лучший результат обеспечивает адсорбент, полученный из косточек названной сливы. Отмечено, что данный активный уголь можно эффективно использовать для адсорбции окрашенных растворенных и других примесей из производственных сточных вод, а подобные полученные материалы имеют огромный потенциал для дальнейших исследований в качестве низкозатратных адсорбентов.

Свойства активных углей на основе хлопкового лигнина в работе [220] охарактеризованы применительно к очистке воды от фенола и нефтепродуктов в динамических условиях. Здесь представлены основные технологические параметры такого процесса и указано, что остаточная концентрация органических загрязняющих веществ в очищенной воде ниже соответствующих величин ПДК, а ее биологические показатели улучшены в 2–3 раза. Полученные экспериментальные данные положены в основу разработки проекта модельной сорбционной установки.

Изложенное выше свидетельствует, что использование дешёвого и образующего весьма значительные массы сырья в виде отходов растительного происхождения может иметь большое значение для снижения себестоимости получаемых на его основе углеродных адсорбентов. Такие отходы (побочные продукты) уже давно признаны хорошими источниками для получения углеродных адсорбентов [221]. Их преобразование в относительно дешёвые продукты данной ориентации может способствовать повышению ценности самих твёрдых отходов,

сокращению комплекса проблем, связанных с обращением с ними (так как, например, их утилизация путём сжигания и захоронения в почву не только опасна для благоприятного состояния различных компонентов биосферы, но и обуславливает нецелесообразную растрату весьма полезных ресурсов), снижению потребности в импорте углеродных адсорбентов и росту их использования, обуславливая тем самым совершенствование экономических и экологических показателей соответствующих производств.

1.5.6. Основы описания и презентация экспериментальных результатов углеадсорбционной очистки производственных сбросов и выбросов

Эффективность процессов очистки производственных сбросов и выбросов с привлечением углеродных адсорбентов в исследовательской лабораторной практике наиболее часто изучают, обычно применяя отобранные в соответствующих производствах представительные пробы жидкофазных объектов и модели парогазовых потоков, обеспечивая состав последних согласно данным того или иного предприятия, с использованием сравнительно простого оборудования и принятых аналитических средств [2].

Условия контакта фаз при обработке отдельных порций названных сред (с целью установления кинетических и равновесных закономерностей реализации соответствующих процессов) и их потоков (для выявления характеристик динамики адсорбции) выбирают, исходя из заданных ограничений и практических соображений, используя в ряде случаев методы математического планирования эксперимента [233].

Скорость (или кинетика, интенсивность развития во времени) любого процесса удаления целевого компонента из смеси (газов или раствора) путём физического поглощения пористым углеродным адсорбентом сопряжена с явлениями его внешней и внутренней диффузии. Влияние на изучаемый процесс внешней диффузии (фактора подвода/доставки вещества к внешней/наружной поверхности зёрен адсорбента) на практике исключают, обеспечивая определённую интенсивность перемешивания обеих фаз и/или задавая необходимый удельный расход подвижной фазы при ее

фильтрации через неподвижный слой зёрен поглотителя. Величину названной интенсивности характеризуют центробежным критерием Рейнольдса

$$Re_{ц} = \rho n d^2 / \mu,$$

где ρ – плотность жидкости или смеси в кг/м^3 ; μ – динамический коэффициент вязкости смеси в $\text{н}\cdot\text{с/м}^2$; n – число оборотов мешалки в секунду; d – диаметр перемешивающего устройства в м [234].

Величину эффективного коэффициента диффузии $D_э$, являющегося критерием количественной оценки кинетики адсорбции, реализуемой во внутридиффузионной области, оценивают приёмами различной сложности [235]. Согласно [1] ее можно определять, используя приближенную зависимость

$$D_э = K r^2 / \pi^2 \tau_{0,5},$$

где K – коэффициент, зависящий от формы гранул адсорбента; r – радиус этих гранул в м; $\tau_{0,5}$ – время полуотработки поглотительной способности гранул.

Эффективность процесса определяют также температура его осуществления, начальная концентрация целевого компонента, доза и размер фракции зёрен используемого поглотителя.

Результаты исследования кинетики адсорбции графически обычно представляют в виде зависимостей от времени величин поглощения извлекаемого компонента, степеней использования адсорбционной способности поглотителей, эффективности очистки и некоторых других показателей. Теоретическое обоснование кинетических процессов сопряжено с определёнными сложностями [235, 236], что обуславливает математическое описание экспериментальных данных с использованием полуэмпирических, эмпирических или формально привлекаемых уравнений.

Анализ совокупности кинетических кривых, отражающих влияние на процесс изменения в заданных пределах названных параметров, позволяет квалифицированное обоснование оптимальных условий его осуществления в периодическом (порционном) режиме. Наличие семейства отражающих достижение равновесия в исследуемой системе кинетических кривых, полученных в идентичных условиях контакта фаз для обрабатываемых сред различной концентрации, позволяет

получить информацию для построения изотермы адсорбции - количественной зависимости между величинами адсорбции и равновесных концентраций адсорбируемого вещества, являющейся наиболее значимой характеристикой при выборе конкретного адсорбента среди других поглотителей для решения поставленной задачи. Описывают адсорбционное равновесие с привлечением различных теорий и вытекающих из них уравнений [1, 116, 127, 237].

В технологии адсорбционной обработке газовых и жидкофазных сред и потоков реализуют периодические и непрерывные процессы, однако последние могут включать адсорберы периодического действия со стационарным слоем зёрен поглотителя. Именно такие аппараты в виде вертикальных, горизонтальных и кольцевых конструкций представляют в настоящее время основу наиболее широко практикуемого аппаратного оформления углеадсорбционных технологий, как в очистке газов, так и при обработке сточных вод. Сущность их устройства и технические характеристики, как и многих видов смежного оборудования, охарактеризованы во многих справочниках, каталогах, проспектах, учебниках, пособиях и сайтах интернета [238-241]. Следует отметить, что наряду с традиционными адсорберами различных конструкций для реализации углеадсорбционных технологий в газоочистке могут быть использованы имеющиеся и действующие газопроводы, а для очистки сточных вод – существующие транспортные коллекторы и компактные трубчатые конструкции типа теплообменников наряду с ёмкостями с мешалками [231, 239].

Обособленную группу представляют адсорбционные процессы, реализуемые в динамических условиях путём фильтрования обрабатываемого потока через стационарный слой зёрен поглотителя, весьма значимые также для ионного обмена и хроматографии. Ряд практически важных закономерностей технологии периодической адсорбции применительно к условиям противогазовой техники был впервые экспериментально установлен, как подчёркнуто во многих публикациях [113, 119, 242, 243], российским исследователем Шиловым Н.А. и развит в трудах как российских, так и зарубежных учёных.

Согласно упрощённой модели процесса периодической адсорбции - модели послойной отработки слоя зёрен адсорбента, время защитного действия слоя $\tau_{\text{пр}}$ отражает зависимость, называемая уравнением Шилова [243]:

$$\tau_{\text{пр}} = KL - \tau_0,$$

где L – длина (высота) слоя, K - коэффициент защитного действия слоя, определяемый как тангенс угла наклона прямолинейного участка экспериментальной кривой ($\tau_{\text{пр}} = f(L)$) к оси абсцисс, τ_0 – потеря времени защитного действия слоя. С использованием этого уравнения можно определить время защитного действия слоя адсорбента любой высоты для установленного режима стационарной адсорбции при известных величинах K и τ_0 .

При экспериментальных исследованиях обычно получают выходные кривые динамики адсорбции в виде гипотетических распределений концентрации адсорбата в подвижной и неподвижной фазах. Обработкой полученных результатов с привлечением различных уравнений устанавливают показатели ансамбля закономерностей и характеристик соответствующих процессов [242].

1.5.7. Современные потребности Мьянмы в углеродных адсорбентах

По имеющимся оценкам [244-246] к 2025 году производственные отрасли Мьянмы в совокупности нуждаются примерно в 840 тоннах относительно дешёвого активированного угля в год. Наибольшая доля (более 350 тонн в год) приходится на сектор водоподготовки, за которым следуют пищевая промышленность (210 тонн), индустрия (193 тонны) и фармацевтика (82 тонны). Эти оценки основаны на последних данных об импорте, темпах роста в различных секторах и мировых показателях потребления [246]. Основной спрос приходится на экономичные активированные угли из кокосовой скорлупы и древесины, которые производят на экспорт частные компании внутри страны и импортируют в основном из Индии, Китая и Таиланда. Официальных сведений о потребностях страны в углеродных адсорбентах для решения задач защиты биосферы от загрязнения опасными веществами в доступных источниках информации автором не обнаружено.

1.6. Выводы

Наиболее значимые итоги выполненного аналитического обзора доступных источников информации могут быть резюмированы в виде следующих позиций, ориентированных на ключевые задачи планируемых исследований:

- Широкое использование коммерческих марок углеродных адсорбентов, включая активные угли, сдерживают, особенно в развивающихся странах, высокие цены этих поглотителей на мировых рынках, что обуславливает целесообразность изучения вопросов возможности привлечения для их получения национальных ресурсов и, в частности, отходов растительного сырья;
- Мьянму – сегодня одну из наименее развитых в мире стран с преобладанием в экономике аграрного сектора характеризует функционирование многочисленных производств и предприятий различной ориентации, деятельность которых сопряжена с образованием весьма крупных масс отходов растительного происхождения, не находящихся в подавляющей части эффективного использования;
- множество публикаций в современных источниках научно-технической информации свидетельствует, что значительный ансамбль названных разнородных отходов может служить перспективной основой для получения с привлечением даже примитивного оборудования сравнительно дешёвых углеродных адсорбентов, превосходящих в ряде случаев по эксплуатационным свойствам коммерческие аналоги, что потенциально значимо для развивающихся стран;
- для национальной экономики Мьянмы, не располагающей собственными предприятиями по производству углеродных адсорбентов, но испытывающей острую нужду в дешёвых представителях последних, первостепенный интерес ввиду зависимости качества этой продукции от используемого сырья представляет оценка целесообразности и эффективности переработки названных растительных отходов с указанной целью.
- названная оценка обуславливает необходимость планомерных исследований способов и режимов термической переработки растительных материалов наряду с

изучением выхода, структурно-адсорбционных и технических характеристик получаемых углеродных адсорбентов и их эксплуатационных свойств.

- Производство углеродных адсорбентов из растительных отходов представляет собой перспективное направление, способствующее устойчивому развитию и эффективному использованию собственного сырья. Указано на необходимость доказательства ценности таких продуктов путём детальных исследований их производства, оптимизации и применения.

1.7. Задачи исследования

Согласно изложенным выводам, констатирующим высокие цены углеродных адсорбентов на мировых рынках, наличие в Мьянме весьма разнообразных и крупных масс отходов растительного происхождения, не имеющих эффективного использования, но представляющих собой, как свидетельствуют многочисленные публикации, потенциальное дешёвое сырьё для получения подобных продуктов пониженной себестоимости, в которых страна испытывает острую нужду, ключевые задачи исследования с учётом зависимости качества данных адсорбентов от используемого сырья целесообразно сформулировать следующими основными положениями применительно к наиболее проблемным из указанных отходов:

- ориентировать термическую переработку отходов на их пиролиз и последующую активацию его карбонизированных продуктов водяным паром, как наиболее доступную в условиях Мьянмы технологию получения углеродных адсорбентов;
- определить значения технологически важных показателей используемых растительных отходов и закономерности термической и термоокислительной деструкции этого сырья и полученных его пиролизом карбонизированных продуктов;
- выявить целесообразные условия пиролиза сырья и активации его зауглероженных продуктов водяным паром, руководствуясь рациональными сочетаниями данных о выходе и структурно-адсорбционных свойствах целевых продуктов, включая сведения по низкотемпературному поглощению ими азота и по их прочности;
- оценить материальные балансы ключевых операций термической переработки используемых отходов на углеродные адсорбенты и наиболее значимые для

разрабатываемой технологии характеристики образующихся побочных продуктов, сформулировав возможные направления рационального обращения с ними;

- изучить сопоставительную эффективность использования полученных на базе отходов углеродных адсорбентов в решении проблем очистки и обезвреживания типичных газовых и жидкофазных объектов, как и ряда смежных задач;
- установить результативность использования применительно к получению углеродных адсорбентов из привлечённых к исследованиям отходов приёмов их химической активации, как вероятных технологических резервов;
- разработать примерные основы аппаратурно-технологических схем возможных производств углеродных адсорбентов из использованных в исследованиях отходов и осуществить их ориентировочное технико-экономическое обоснование с примерной оценкой ущерба, предотвращаемого их реализацией и использованием получаемой продукции.

ГЛАВА 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ОТХОДАХ, ДАННЫХ ИХ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ И АНАЛИТИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ

2.1. Номенклатура отходов

Экспериментальные исследования проведены с привлечением представительных образцов наиболее крупнотоннажных отходов в основном сельскохозяйственных и пищевых производств Мьянмы. Их перечень представлен образцами скорлупы кокосовых орехов (СКО), рисовой шелухи (РШ), древесины железного дерева (ЖД, хуliaхуlосагра, пуинкадо), оболочек семян манго (ОСМ), скорлупы косточек сливы (СКС), высохших после сбора урожая стеблей хлопчатника с корневищами – гуза-паи (ГП), кожуры плодов тамаринда (КПТ) и цветочных отходов в виде использованных букетов роз (БР). Изначальная ориентация этих исследований на наиболее приемлемую в условиях данного государства технологию получения углеродных адсорбентов путём пиролиза перечисленных отходов и активации его карбонизированных продуктов водяным паром предопределяет необходимость, прежде всего, ориентировочной оценки уровня температурного воздействия на это сырьё в атмосфере паров и газов его термической деструкции. Это обстоятельство обуславливает целесообразность экспериментального определения ряда технических характеристик названных отходов и получения информации, значимой для обеспечения указанной цели.

2.2. Происхождение отходов, их характеристика и итоги термографических исследований

2.2.1. Источники отходов

Скорлупа кокосовых орехов. Доставленное из одного из административных округов Мьянмы сырьё представляло собой различных размеров (в основном не превышавших 8 см в максимальном поперечнике) фрагменты вогнуто-выгнутой формы СКО различной толщины. Физическая структура фрагментов СКО с наружной

поверхности представляет собой плотный с небольшими углублениями и выступами и остатками койра материал шоколадного цвета. Аналогична и структура лишённой койра внутренней поверхности фрагментов. Излом фрагментов характеризуют плотная структура того же цвета. Для проведения экспериментов эти фрагменты дробили доступными средствами, рассеивая продукты дробления на фракции. Для пиролитической переработки использована специально предварительно наработанная фракция воздушно сухих частиц СКО, о внешнем виде которой наглядное представление даёт фотография рисунка 8, а некоторые установленные технические показатели, в частности, в виде размеров и формы частиц, их насыпной плотности d , зольности Aa , влажности Wa и прочности при истирании P охарактеризованы в таблице 11, где сопоставлены с аналогичными других отходов.



Рисунок 10 - Массив фрагментов СКО

Таблица 11 - Физические параметры воздушно сухих отходов, подготовленных к пиролизу

Сырье	Размер (мм) и форма фрагментов		d , кг/дм ³	Aa , %	Wa , %	P^* , %
	Поставка	Эксперимент				
СКО	(30-85) x (1,5-10)	3-7, разные формы	0,63	1,02	8,68	98,00
РШ	2-4 для ширины чешуек длиной 0,7-0,9	2-4 для ширины чешуек длиной 0,7-0,9	0,24	22,57	5,90	90,20

Продолжение таблицы 11						
Сырье	Размер (мм) и форма фрагментов		d, кг/дм ³	Aa, %	Wa, %	П*, %
	Поставка	Эксперимент				
ЖД	сколы (50-70) х (1,5-12)	3-5	0,30	0,13	7,00	99,60
ОСМ	стручки длиной 50-100	(8-13) х (1-2)	0,25	1,75	5,60	99,99
СКС	диаметр ~5, шарообразные	поперечник до 5,0±0,5	0,50	1,35	6,96	99,95
ГП	длина до 500 диаметр до 7	длина 10-12 диаметр 5-7	0,30	2,29	2,70	99,50
КПТ	(9-15)х(2,0- 2,5)х(2,0-2,2)	до 7–10 для фрагментов разной формы	0,60	2,40	3,93	98,50
БР	цельные букеты из частей растений высотой 550- 600	поперечник до 20	0,15	5,2	13,00	86,40

* величина прочности при истирании, определенная по МИС-60-8 [98].

Значения параметров d, Aa, Wa и П, указанные в таблице 11, несколько отличны от таковых, приведенных в доступной литературе для аналогичных и сходных отходов [158, 247–251].

Рисовая шелуха. Из партии воздушно сухой РШ, доставленной с участка лущения обмолоченного риса одного из пищевых предприятий Мьянмы, с целью выполнения исследований отсеяна её наиболее массовая фракция фрагментов с поперечником 2-4 мм и длиной преимущественно 2-4 длины зерна риса, являющейся характерной особенностью большинства видов данных отходов [249]. Физическая структура фрагментов РШ представлена механически нарушенными оболочками зёрен риса жёлтого цвета с толщённой стенки до 1 мм. Внешний вид данного сырья иллюстрирует фото рисунка 11.



Рисунок 11 - Массив фрагментов РШ



Рисунок 12 - Массив фрагментов древесины ЖД

фрагментов различной длины с поперечником 3-5 мм, внешний вид которых иллюстрирует фото рисунка 12.

Физическую структуру фрагментов древесины ЖД характеризует плотная трещиноватая поверхность темно-коричневого цвета. Древесина многих пород деревьев и кустарников является источником получения достаточно высококачественных углеродных адсорбентов [250, 255].

Оболочки семян плодов манго. Мировое производство манго в настоящее время близко 23,5 млн. т в год и продолжает стабильно расти по причине уникальных свойств этих фруктов [256]. Использование с различными целями плодов, являющихся представителями более 500 (по некоторым данным до 1000) сортов

Оценённые технические показатели использованного сырья, представленные в таблице 10, в целом удовлетворительно согласуются с имеющимися литературными данными [247, 252, 253].

Древесина железного дерева. С целью проведения испытаний сырьё – кусковые отходы одного из предприятий Мьянмы по производству пиломатериалов из стволовой древесины пуинкадо – представителя крупных тропических деревьев ценных пород [254], доставленное в виде обрезков и сколов максимальным размером до 7 см, подвергнуто дроблению доступными приёмами с последующим отсевом

данной плодовой культуры [257], обуславливает образование сотен тысяч т в год отходов в виде семян и их оболочек.



Рисунок 13 - Массив фрагментов
ОСМ

Это сырье доставлено из Мьянмы в крафт-пакетах, содержащих воздушно сухие и нашелушённые (включающие семена) косточки плодов манго различных размеров (преимущественно длиной от 5 до 10 см), отобранные из отходов одного из пищевых производств страны, специализирующегося на переработке плодов манго сорта Yin KweI, ценимого за особое сочетание сладкого и кислого оттенков вкуса, и по внешнему виду и строению схожих с цельными высохшими

стручками гороха, имеющими, однако, лишь одну косточку (по сравнению с несколькими горошинами в стручке). Семена плодов манго частично покрыты плотно прилегающими к ним и похожими на пергаментную бумагу коричневыми оболочками-мембранами толщиной примерно 1 мм [80].

Эти оболочки, отделённые от семян шелушением, вследствие своего вида и тактильных ощущений свидетельствуют о рациональности их исследования в качестве сырья для получения адсорбционно активных материалов, возможно, повышенной прочности. Физическую структуру фрагментов оболочек семян манго отличает плотная структура как наружной (темно-коричневого цвета), так и внутренней стороны светло-коричневого с желтизной цвета. Для излома фрагментов характерен жёлто-коричневый свет. С данной целью косточки были вручную лишены семян, а их стенки-оболочки посредством ножей и ножниц поделены на использованные в исследованиях фрагменты, наглядное представление о которых даёт фото рисунка 11. Физические показатели этого вида использованных отходов частично охарактеризованы в таблице 11.

Скорлупа косточек сливы. Представительная проба отходов в виде подсушенных на воздухе косточек сливы доставлена с одного из пищевых производств Мьянмы в запечатанных полиэтиленовых пакетах. Внешний вид косточек сортов сливы, выращиваемых в Мьянме, своеобразен: имея близкую к шаровой форму и диаметр примерно 5–7 мм он весьма схож с косточками российских вишен, в отличие от продолговатых эллипсовидных и значительно больших по размерам косточек разновидностей этой культуры, произрастающих в России, что является характерной особенностью данного сырья. Наружная поверхность фрагментов СКС имеет волнистый островной характер с участками светло- и темно-коричневого цвета. Их внутреннюю поверхность светло-жёлтого цвета характеризует наличие углублений и выступов различной формы. Для подготовки к исследованиям это сырьё замачивали в воде, тщательно освобождали с использованием металлической щётки от остатков плодовой мякоти, сушили при 105 °С, дробили подручными средствами с целью отделения цельных и фрагментов разрушенных оболочек ядер, отбирали наиболее массовые фрагменты скорлупы поперечником до примерно 5,0 мм, вновь промывали их водой и сушили до постоянной массы при 105 °С, храня затем в герметичности. Массив фрагментов подготовленного сырья характеризует фото рисунка 14.



Рисунок 14 - Массив фрагментов
СКС

Часть подготовленного таким образом сырья помещали в герметично изолированные ёмкости, другую хранили при контакте с воздухом в ёмкостях различного типа и пластиковых пакетах.

Гуза-пая. Доставленные с одной из хлопковых плантаций Мьянмы обёрнутыми в синтетическую мешковину плотно связанные части воздушно сухих и лишённых листвы стеблей хлопчатника с корнями – гуза-пая

механически фрагментировали садовыми ножницами на отдельные куски

цилиндрической формы, внешний вид массива которых иллюстрирует фотография рисунка 15.



Рисунок 15 - Массив фрагментов ГП

Размеры собственно растений и приготовленных для проведения исследований их фрагментов наряду с рядом иных физических показателей охарактеризованы в таблице 12. Подготовленное сырье в воздушно сухом состоянии помещали на хранение в различные типы герметичной и негерметичной тары. Наружную поверхность фрагментов ГП характеризует

коричневый цвет с оттенком от светлого до тёмного. Для отдельных из них характерны разноразмерные углубления. Излом фрагментов светло-коричневого цвета характеризуют также разноразмерные пустоты между волокнами.

Кожура плодов тамаринда. Внешне схожие по форме с гораздо более мелкими по размерам стручками гороха и акации, зрелые стручки тамаринда (*Tamarindus indica*) – медленно растущего и долгоживущего практически вечнозелёного в условиях Мьянмы (листопадного в более суровых условиях сухих сезонов) тропического дерева высотой до 25 и диаметром широкой раскидистой кроны до 9 м представляют собой бархатистые на ощупь коричневые бобы различной формы шириной (толщиной) 2-3 и длиной до 15-20 см, внутри которых в светлой оболочке находится индийский финик – мягкий съедобный коричневый или красновато-коричневый кисло-сладкий плод в виде волокнистой мякоти с плотными косточками-семенами закруглённо-квадратной формы [50, 258-260].

Агротехнические мероприятия при культивировании деревьев тамаринда сопряжены с образованием отходов в виде в основном срезанных при уходе ветвей и их повреждённых и опавших фрагментов, лисовы, стволовой древесины (обрезки, щепы, опилки), а также испорченных плодов. Переработку урожая плодов

сопровождает формирование остатков, представленных преимущественно стручковыми оболочками и косточками. Имеющиеся литературные данные свидетельствуют, что некоторые из указанных растительных отходов тамаринда могут служить достаточно качественным сырьём для получения активных углей, способных к эффективной очистке различных производственных сред [50, 229, 260].

Сведения о некоторых физических показателях данных отходов, подготовленных с целью изучения процесса их пиролиза, содержатся в таблице 11. Наружная бархатистая поверхность фрагментов КПТ шоколадного цвета имеет многочисленные трещины различных размеров. Внутренняя также бархатистая их поверхность, в отличие от наружной, имеет более светлый шоколадный цвет. Для выполнения пиролитических исследований КПТ вручную фрагментирована на частицы толщиной около 1 мм и размером 3–5 мм, ансамбль которых иллюстрирует фото рисунка 16.



Рисунок 16 - Массив фрагментов
КПТ

Образцы плодов тамаринда отобраны в Мьянме в г. Мон Ява (район Са Гаинг). Бобовые стручки этих плодов состоят из кожуры и мягкой съедобной фруктовой массы, обволакивающей косточки. Среди остатков прокаливания этих компонентов и цельных плодов в токе азота и последующего в нем охлаждения объем сорбирующих пор по парам бензола (V_s по C_6H_6) у такового для кожуры ($1,14 \text{ см}^3/\text{г}$)

существенно превосходил аналогичные показатели в случаях косточек, фруктовой массы и цельных плодов, составившие 0,16, 0,18 и 0,50 $\text{см}^3/\text{г}$, соответственно, что стало аргументом выбора для исследований кожуры плодов (стручков) тамаринда (КПТ), представляющей 20-23 % от их массы и образующей в пищевых производствах значительные объёмы отходов, требующих изыскания коммерчески эффективных направлений её утилизации.

Букеты роз. Живыми цветами, практически повсеместно широко практикуемыми в качестве выраженных знаков особого внимания при проведении многочисленных торжественных и иных мероприятий в городах и населённых пунктах Мьянмы и многих других государств, являются, в частности, розы. С целью получения карбонизированных продуктов названные отдельные компоненты БР (стебли, листья, соцветия/бутоны) подвергнуты ручным нарезке и разрыву на фрагменты с максимальным поперечником до 20 мм. Затем фрагментированные компоненты БР в названном массовом соотношении смешивали и использовали для получения образцов, подлежащих пиролизу. Определённое представление о таких образцах представляет фото рисунка 17.



Рисунок 17 - Ансамбль фрагментов БР

Их использованные букеты образуют значительные массы растительных отходов и представляют определённый интерес для получения углеродных адсорбентов. Оценённые результаты параллельных определений доли основных фрагментов поставленных БР - стеблей, листьев и соцветий,

характеризуют величины (в % масс.) 58,7, 28,4 и 12,9, соответственно. Высохшие фрагменты соцветий БР характеризуют оттенки от жёлтого до тёмно-красного, листвы - от матового зеленоватого до матово-фиолетового, а веток - сочетание светло-жёлтого и светло-фиолетового цветов.

Некоторые физические показатели поставленного сырья и приготовленных из его фрагментов образцов для исследований отражает информация таблицы 11.

2.2.2. Элементный состав отходов

Элементный состав органической компоненты использованных отходов, оценённый с использованием оборудования центра коллективного пользования (ЦКП) РХТУ им. Д.И. Менделеева, отражают данные таблицы 12.

Таблица 12 - Показатели элементного состава органической компоненты отходов

Обозначение отхода	Содержание, % масс.					
	С	О	Н	N	S	Область определения
СКО	58,75	34,33	5,69	-	-	массив
СКО	62,30	36,40	-	-	-	поверхность
РШ	28,96	33,16	5,24	0,06	-	массив
РШ	24,00	51,57	-	-	-	поверхность
ЖД	48,24	44,88	6,25	0,57	0,06	массив
ЖД	63,29	36,71	-	-	-	поверхность
ОСМ	44,31	49,67	5,76	0,26	-	массив
ОСМ	53,10	45,57	-	-	-	поверхность
СКС	53,14	40,72	5,88	0,26	-	массив
СКС	53,52	42,26	-	-	-	поверхность
ГП	47,34	47,04	5,62	-	-	массив
ГП	64,22	33,98	-	-	-	поверхность
КПТ	-	-	-	-	-	массив
КПТ	56,19	42,02	-	-	-	поверхность
БР	-	-	-	-	-	массив
БР	57,48	42,15	-	-	-	поверхность
Береза	48,60	45,00	6,40	-	-	массив
Сосна	49,60	44,00	6,40	-	-	массив

Осреднённые результаты оценки полученных там же спектров (иллюстрирующий их пример приведён на рисунке 18), характеризующих содержание химических элементов в произвольно выбранных точках поверхности фрагментов использованных отходов (специфика этих определений исключает констатацию наличия водорода), частично освещённые в работах [54, 62, 76, 81, 248, 261, 262], представлены в таблице 13.

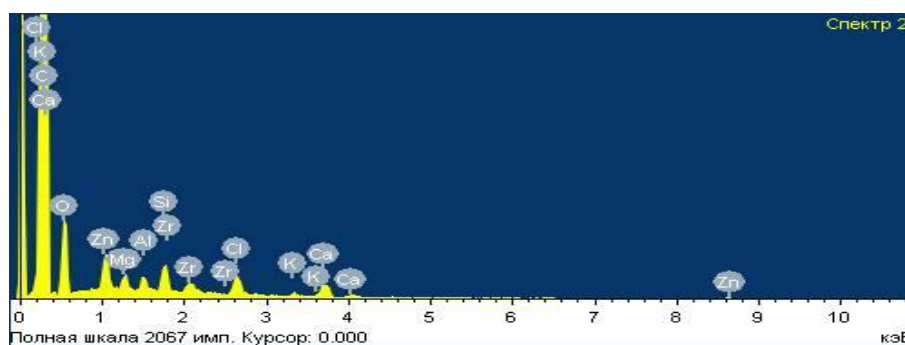


Рисунок 18 - Спектр точки поверхности фрагмента ОСМ

Таблица 13 - Осредненные величины содержания минеральных элементов поверхностей использованных отходов

Обозначение отхода	Элемент и его содержание, % масс.							
	K	Cl	Na	Si	Al	S	Ca	Mg
СКО	0,35	0,17	0,15	0,06	0,06	-	-	-
РШ	-	0,16	-	43,37	-	-	-	-
ЖД	-	-	-	-	-	-	-	-
ОСМ	-	-	-	0,48	0,20	-	0,64	-
СКС	-	-	-	1,81	0,45	-	0,69	-
ГП	0,40	0,47	0,33	-	-	0,07	0,23	0,19
КПТ	0,98	-	-	-	0,29	-	0,66	-
БР	0,14	-	-	0,09	0,03	-	0,07	0,03

Примечание: знак «-» указывает на необнаруженность аналитически определяемого элемента.

Данные таблицы 13, свидетельствуя о наличии в подавляющем большинстве использованных отходов заметных количеств ряда неорганических примесей, указывают наряду с показателями таблицы 11 на определённые различия в элементных составах этого сырья и древесины различных пород России [263, 264]. Наряду с этим элементный состав характеризуемых отходов Мьянмы имеет определённые отличия от аналогичного сырья иного географического происхождения.

Так, в частности, данные таблиц 10 и 11 относительно СКО несколько разнятся с таковыми, приведёнными в работе [265], хотя согласно [266] по форме различают два вида кокосовых орехов – овальные (ГОА) и круглые (Гибридные), а установить принадлежность фрагментов скорлупы к конкретному из этих видов на месте отбора доставленных образцов не представилось возможным.

Результаты определения элементного состава использованной в работе РШ, приведённые в таблицах 12 и 13, отражены в работах [262, 267]. Опубликованные иные сведения об элементном составе РШ достаточно противоречивы [268, 269], хотя близкое равенство (схожесть, постоянство) состава подчёркнуто в работе [270].

Следует отметить, что согласно российским литературным данным [268, 271] элементы органических соединений РШ (в % масс.) в целом характеризует наличие 39,8-41,1 С, 36,6-37,4 О, 5,7-6,1 Н и 0,5-0,6 N. Спектральным же анализом фиксировано наличие в РШ оксидов Ca, Mg, Al, Cu, Mn, Fe, K, Na, Ti, Co и других элементов, причём среди них преобладают оксиды Ca, Mg, Al и Fe [270].

Элементный состав древесины ЖД, выраженный в % на абсолютно сухое вещество, мало отличается от такового древесины других пород, охарактеризованного на сайтах интернета [54, 273–276], где отмечена характерная особенность поверхности фрагментов подготовленного к исследованиям сырья – лишь фоновое наличие неорганических гетероэлементов. Относительно детально обсуждённых в работах [277-279] ОСМ, характеризуемых элементным составом, выражаемым данными таблиц 11 и 12, имеющиеся публикации [215-217] дают основания считать их достаточно качественным сырьём для получения адсорбционноактивных материалов. В соответствии с анализами СКС,

выполненными в ЦКП и охарактеризованными в работе [280], элементный состав массива ее органической части представлен в таблицах 11 и 12, где отражены также усреднённые данные спектров состава данного материала в произвольно выбранных точках поверхности ее фрагментов. Спецификой последних является существенное (достигающее двух порядков) различие состава в названных точках [76]. В таблице 10 указан ряд физических показателей сырья, подготовленного к исследованиям. Сведения, содержащиеся в этих публикациях, удовлетворительно совпадают с опубликованными данными [281]. Массу воздушно сухой гуза-паи характеризует элементный состав, приведённый по данным ЦКП в таблицах 12 и 13 и удовлетворительно совпадающий с аналогичным сырьём, охарактеризованным в работе [228].

По данным выполненного в ЦКП исследования в состав поверхности КПП наряду с элементами органической основы входит ряд металлов [226] (таблицы 11 и 12).

Осреднённые результаты параллельных определений доли основных фрагментов (стебли, листья и соцветия), составляющих поставленные БР, содержания в них влаги и золы, а также элементного состава их поверхности (согласно данным рентгено-флуоресцентного анализа, выполненного в ЦКП), характеризует информация таблиц 14.

Таблица 14 - Характеристики и состав поверхности основных частей букетов роз

Часть букетов	Доля, %	W, %	A, %	Содержание, %						
				C	O	K	Si	Ca	Mg	Al
Стебли	58,7	6,3	2,1	50,06	49,94	-	-	-	-	-
Листья	28,4	24,5	11,8	70,04	28,37	0,35	0,33	0,25	0,08	0,08
Соцветия	12,9	18,0	4,6	63,63	35,96	0,30	-	-	0,08	0,93

Данные таблицы 14 свидетельствуют, что листья и соцветия БР, несмотря на их меньшую суммарную массовую долю по отношению к стеблям, содержат больше углерода и являются основными аккумуляторами зольных элементов [282].

Мольное соотношение О к С для соцветий, стеблей и листьев БР составляет 0,42, 0,75 и 0,31, соответственно, что согласно [107] соответствует области данного соотношения для сырья, используемого с целью получения достаточно качественных углеродных адсорбентов [283] .

Стебли БР характеризуют примерно равные доли углерода и кислорода, что близко литературным данным о составе органической массы древесины различных пород и многих растительных отходов [250, 254, 266, 279, 284, 290, 291, 292]. Практическое отсутствие в них зольных элементов и факт накопления данных компонентов в периферийных частях этих растений, свойственный и ряду злаков [285] наряду с высокой массовой долей наиболее одревесневших составляющих в рассматриваемых отходах определяют целесообразность цельной переработки последних путём пиролиза.

2.2.3. Итоги термографии отходов

Выполненный с привлечением информации работ [286-288] анализ термограмм воздушно-сухих порошков отходов фракции <200 мкм, полученных с привлечением в основном дериватографа Q-1200 венгерского производства (фирма MOM) в атмосфере баллонного азота и при стеснённом произвольном доступе атмосферного воздуха при равномерном нагревании сырья с интенсивностью 9 °С/мин до ~900 °С, охарактеризован в работах [12, 248, 262, 283, 289-300]. Собственно термограммы, как первичная экспериментальная информация, приведены в приложении П 1. Наиболее значимые сведения о полученных результатах термогравиметрии представлены ниже в разделе 2.6.

Практически важны следствия названного анализа. Так, в частности, потери образцами массы, обуславливающие выход карбонизированных продуктов, при ~ 900 °С могут достигать в основном гораздо более 85 %, но они существенно ниже таковых при их термоокислительной деструкции, указывая на то, что случайные, даже непродолжительные поступления воздуха в пиролитический реактор могут существенно сокращать ожидаемый выход целевых продуктов при температурах выше 200 °С.

Процессы пиролиза и термоокислительной деструкции использованных отходов характеризуют различные степени экзотермичности в температурной области ~115-650 °С, хотя кривые термогравиметрии, дифференциальной термогравиметрии и дифференциального термического анализа одинаковых образцов имеют близкую схожесть формы, более или менее значительные несоответствия которой в основном свойственны кривым ТГ и ДТА в температурной области выше ~500 °С, что свидетельствует о сложности и существенных различиях механизмов деструкции анализируемых материалов, нагреваемых в защитной и окислительной атмосферах.

С учётом изложенного выше исследование возможности переработки образцов крупнотоннажных отходов растительного сырья Мьянмы на активные угли, несомненно, перспективно для национальной экономики.

Экспериментальное исследование термической переработки взятых отходов с обозначенной целью требует защитной (инертной) атмосферы, обеспечивающей большой выход целевых продуктов. Таковой может быть, в частности, атмосфера горячих паров и газов термической деструкции этих сырьевых материалов при температурах не ниже 400 °С, причём согласно литературным данным [300–302] целесообразно особое внимание уделить области существенно более высоких температур, близких температурам завершения интенсивной термической деструкции сырья.

Наряду с этим следует отметить ряд следующих обстоятельств. Сопоставление результатов анализа полученных термограмм РШ, охарактеризованных в работах [262, 264, 289, 290, 302] с имеющейся литературной информацией [248, 249, 254-257, 265-268, 303, 305] позволяет констатировать, что различия термографических характеристик и состава образцов шелухи риса, выращенного на чеках географических районов, значительно удалённых друг от друга, весьма существенны, что, по-видимому, может в той или иной степени сказываться как на показателях рациональных условий переработки исследуемой РШ путём, в частности, её карбонизации и последующей активации водяным паром, так и на комплексе характеристик целевых и побочных продуктов этой переработки. Следует отметить также, что тепловому поведению РШ при пиролизе свойствен спокойный и слабо

выраженный экзотермический характер в отличие от бурного и обширного тепловыделения при её нагревании даже в условиях затруднённого поступления воздуха.

По полученным термографическим данным для образца древесины ЖД, изложенным в работах [272-276, 275], с учётом сведений, опубликованных в научно-технической литературе [250, 254, 264, 265, 267], существенных различий в картинах термического поведения не обнаружено.

Совокупность результатов термографических исследований ОСМ, охарактеризованных в работах [81, 269-272, 274, 276, 278, 280], и литературных данных, в том числе связанных с этим отходом [168-170, 214-216, 292, 294, 306-309], свидетельствует, что область температур $\sim 300-600$ °С наиболее характерна для пиролиза с указанной целью многих растительных отходов, включая древесные. Кроме этого, материал ОСМ сравнительно легко окисляется даже продуктами собственной деструкции, о чём свидетельствует близость величин потерь им массы при одинаковых температурах в названных атмосферах, указывая на необходимость жёсткого контроля герметичности пиролитического реактора при экспериментальном изучении термической переработки характеризуемого отхода при повышенных температурах.

Результаты термографического исследования СКС, охарактеризованные в работах [76, 79, 276-280, 291], наряду с литературной информацией [111, 220, 278 - 282, 310-313] свидетельствуют о типичности для уплотнённого растительного сырья зависимости от температуры изменения массы СКС при её пиролизе.

Полученные термограммы ГП, подробно охарактеризованные в работах [62, 274-280, 282, 283, 294, 314] наряду с литературными данными [64, 231, 237, 282-285, 315, 316] позволяют констатировать очевидную целесообразность организации исследований по переработке ГП, образующейся на хлопковых плантациях Мьянмы, на углеродные адсорбенты.

Оценка термического воздействия на отходы КПТ выполнена в области температур от комнатной до ~ 900 °С в защитной атмосфере азота с привлечением дериватографа марки EXSTAR.TG/DTA. 7300 (SII). Ее результаты подробно

обсуждены в работах [290, 295, 318]. Наряду с литературной информацией [229, 260, 286–299] они позволяют полагать рациональной для экспериментального исследования их пиролиза область температурного воздействия на данный материал, составляющую примерно 350–500 °С, где может быть обеспечен значимый выход целевого продукта.

Эксперимент, выполненный путём прокаливания подготовленной пробы БР в накрытом кварцевым стеклом алундовом тигле в муфельной печи, продемонстрировал результаты, представленные в таблице 15.

Таблица 15 - Характер потери массы образца БР в зависимости от температуры

Температура, °С	200	400	500	600	700	800	900
Потеря массы, %	7,80	84,35	92,00	92,30	94,07	95,00	96,00

Как следует из данных таблицы 15, интенсивное выделение летучих веществ из испытуемого образца практически завершается в области температур 450–500 °С, что указывает на рациональность исследования пиролиза данных отходов именно в этом температурном интервале, обеспечивающем минимальные тепловые затраты.

2.3. Экспериментальное оборудование и методики

2.3.1. Подготовка сырья к переработке и его карбонизация

Подготовки сырья к экспериментальным исследованиям заключалась в их обеспыливании путём встряхивания на лабораторном сите, отборе фракции согласно таблице 10, оценке влажности последней и взвешивании образца на технических или аналитических весах. Процессы пиролиза (карбонизации) всех видов использованного сырья были исследованы в работе на лабораторной установке, схема которой представлена на рисунке 19.

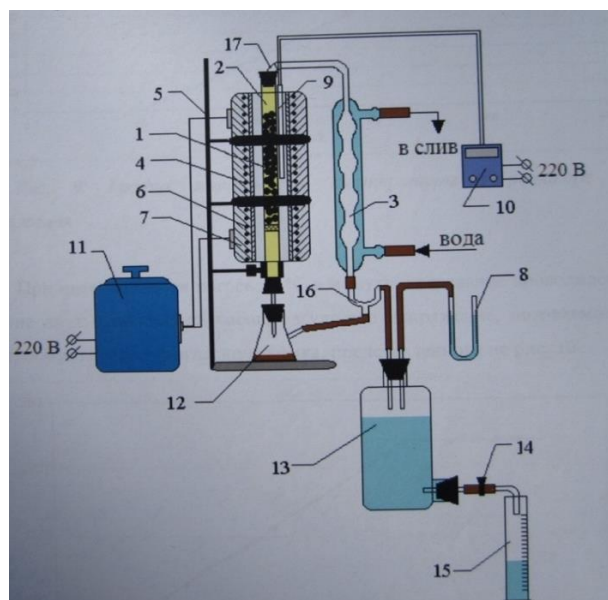


Рисунок 19 - Схема экспериментальной установки для изучения процессов карбонизации сырья

1 – навеска испытуемого образца; 2 – реактор; 3 – обратный холодильник; 4 – электрическая печь; 5 – штатив; 6 – электрическая обмотка; 7 – теплоизоляция; 8 – U-образный манометр; 9 – термопара; 10 – милливольтметр; 11 – ЛАТР; 12 – приёмник конденсата; 13 – ёмкость-аспиратор; 14 – тубус; 15 – мерный цилиндр; 16 – разделитель фаз; 17 – крышка реактора

Навеску (1) сырья массой около 30–40 г засыпали на опорную сетку в кварцевый (или стальной) трубчатый реактор (2) длиной около 70 и внутренним диаметром 3,2 см, снабжённый пришлифованными (завинчивающимися) кварцевыми (стальными) крышками со штуцерами. Реактор помещали в закреплённую на штативе (5) вертикальную керамическую трубчатую электрическую печь (4) высотой 50–60 и внутренним диаметром около 6 см, имеющую нихромовую обмотку (6), питаемую через ЛАТР вручную согласно имеющейся калибровке, и асбестовую теплоизоляцию (7). Температуру внутри печи в зоне карбонизации контролировали хромель-алюмелевой термопарой (9), подключённой к милливольтметру (10).

Испытуемый образец нагревали с заданной интенсивностью до необходимой температуры и выдерживали при этой температуре в течение требуемого времени. Пары и газы термического разложения сырья, результирующие пиролиз, отводили через штуцер верхней крышки реактора (17) и стеклянную трубку, фиксированную

посредством отрезков пластикового шланга, в водяной холодильник (3), снабжённый на его выходе отделителем (16) и приёмником (12) конденсата, соединённым посредством пробки со штуцером, пластикового шланга и штуцера нижней пришлифованной (завинчивающейся) крышки реактора с его внутренней полостью. Несконденсированные газы пиролиза направляли с целью оценки их объёма в частично заполненную водой бутыл-аспиратор (13), снабжённую резиновой пробкой с двумя штуцерами, манометром (8) и нижним тубусом с краном (14), посредством которого из аспиратора периодически сливали в мерный цилиндр (15) воду, таким образом поддерживая равенство уровней рабочей жидкости в обоих коленах манометра (8) и избегая тем самым избыточного давления в системе.

Все оборудование установки смонтировано внутри секции лабораторного вытяжного шкафа. По завершении процесса и остывании изолированного от атмосферы реактора полученный карбонизат извлекали, взвешивали и анализировали. Исходя из масс навески до (m_1) и после (m_2) карбонизации, устанавливали выход целевого продукта: $[(m_1 - m_2) / m_1] \cdot 100 \%$.

Для примерной оценки материального баланса процесса карбонизации измеряли объем и путём взвешивания массу конденсата, аккумулированного в сборнике (12), а также суммарный объем слитой из бутыл-аспиратора (13) воды, условно принимая его равным объёму выделившихся неконденсируемых газов.

2.3.2. Активация карбонизата водяным паром

Процессы переработки карбонизатов, полученных из названного растительного сырья, на углеродные адсорбенты путём активации водяным паром изучены на лабораторной установке, схема которой представлена на рисунке 20.

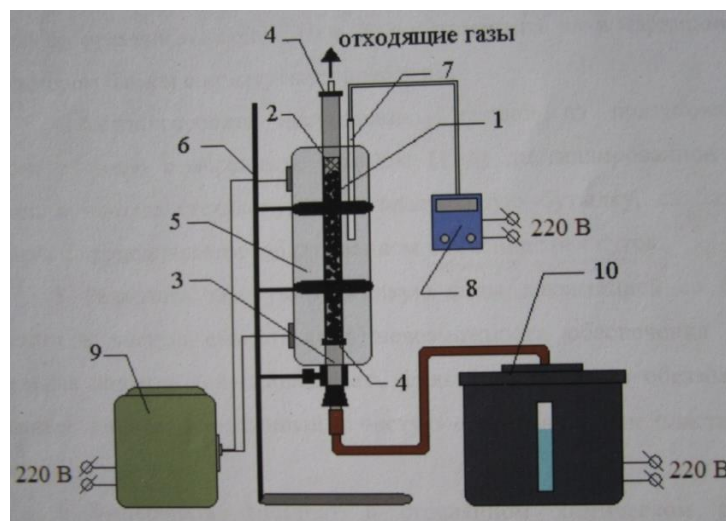


Рисунок 20 - Схема экспериментальной установки изучения процессов активации карбонизатов водяным паром:

1 – навеска карбонизата, 2 – сетчатый стакан, 3 – реактор, 4 – крышки, 5 – электрическая печь, 6 – штатив, 7 – термопара, 8 – милливольтметр, 9 – ЛАТР, 10 – парогенератор

В каждом эксперименте навеску зёрен карбонизата массой до ~40 г (1) засыпали в трубчатый стакан (2), выполненный из латунной сетки, и опускали в стальной реактор высотой 70 и внутренним диаметром 3,2 см. Реактор снабжён крышками (4) и помещён в вертикальную керамическую трубчатую электрическую печь (5) высотой 50 и диаметром 6 см, фиксированную на штативе (6). Печь имеет обмотку (спираль) из нихромовой проволоки и асбестовую теплоизоляцию. Температуру в печи регулировали лабораторным автотрансформатором (9) с использованием имеющейся его калибровки и контролировали посредством термопары (7), подключённой к милливольтметру (8). Водяной пар с заданным расходом направляли в реактор через короткий теплоизолированный резиновый шланг и штуцер верхней крышки реактора из парогенератора (10), паропроизводительность которого была предварительно калибрована по числу расположенных внутри этого аппарата электронагревателей (ТЭНов), включённых в работу.

Процесс активации изучали с целью установления лучшего по сочетанию качества и выхода целевого продукта – углеродных адсорбентов и рациональных условий его реализации. С этими целями сначала проводили серию экспериментов

при заданной скорости нагрева карбонизата до различных конечных температур при фиксированной подаче в реактор водяного пара, исходя из расчёта на единицу массы целевого продукта. Затем, выбрав из полученных образцов лучший, руководствуясь совокупностью показателей его выхода, пористой структуры и поглотительной способности, определяли рациональные величины интенсивности нагревания карбонизата (в интервале 5–20 °С/мин), удельного расхода водяного пара (в пределах 3–10 г/г), конечной температуры процесса и длительности нагревания целевого продукта при этой температуре.

По завершении процесса и остывании изолированного от атмосферного воздуха реактора полученный адсорбент извлекали, стараясь максимально избежать его потерь, и взвешивали. По массам навески до (m_1) и после (m_2) активации карбонизата устанавливали выход (и величину обгара) углеродного адсорбента: $[(m_1 - m_2)/m_1] \cdot 100$ %. Для приблизительного сведения материального баланса процесса активации, реализуемого в рациональных условиях, аналогичным охарактеризованному выше способом (см. описание операции карбонизации) измеряли объём и путём взвешивания массу конденсата, аккумулированного (см. рис. 17) в сборнике (12), а также суммарный объём слитой из бутылки-аспиратора (13) воды, условно принимая его равным объёму выделившихся в процессе активации неконденсируемых газов.

2.3.4. Контакт и разделение фаз при изучении выщелачивания в воде углеродных адсорбентов и эффективности их использования при очистке сточных вод

Взаимодействие полученных углеродных адсорбентов с дистиллированной водой с целью установления величины его выщелачивания осуществляли путём настаивания в стеклянной колбе в течение суток с периодическим встряхиванием навески фрагментов полученного в рациональных условиях адсорбента в определённом объёме воды. Результирующие эти эксперименты суспензии разделяли на стеклянном фильтре Шотта, после чего освобождённую от угольной взвеси воду анализировали с целью установления величин сухого (СО) и прокалённого (ПО) остатков с привлечением методики, охарактеризованной в [208].

Исследования кинетики и равновесия адсорбции органических загрязняющих веществ из сточной воды с территории коксохимического производства АО «Москокс» полученными адсорбентами и активным углём заводского производства марки БАУ проведены при комнатной температуре в идентичных условиях перемешивания твёрдой и жидкой фаз в стеклянном стакане лопастной мешалкой с интенсивностью, обеспечивающей упразднение влияния на процессы внешнедиффузионного торможения. В этих опытах использованы зерна углеродных адсорбентов различных фракций, вводимые в сточную воду заданной дозой. В процессе кинетических исследований периодически отбирали пробы водно-угольной суспензии с помощью снабжённой резиновой грушей стеклянной трубки внутренним диаметром ~5 мм, фазы которых немедленно разделяли на фильтре Шотта. Сепарированные образцы жидкости анализировали с определением показателей общего органического углерода.

2.3.5. Исследование процессов насыщения полученных адсорбентов парами органического растворителя

С целью изучения кинетики и равновесия адсорбции полученными в работе углеродными адсорбентами паров н-бутанола из их смесей с воздухом использована экспериментальная установка, схема которой приведена на рисунке 21.

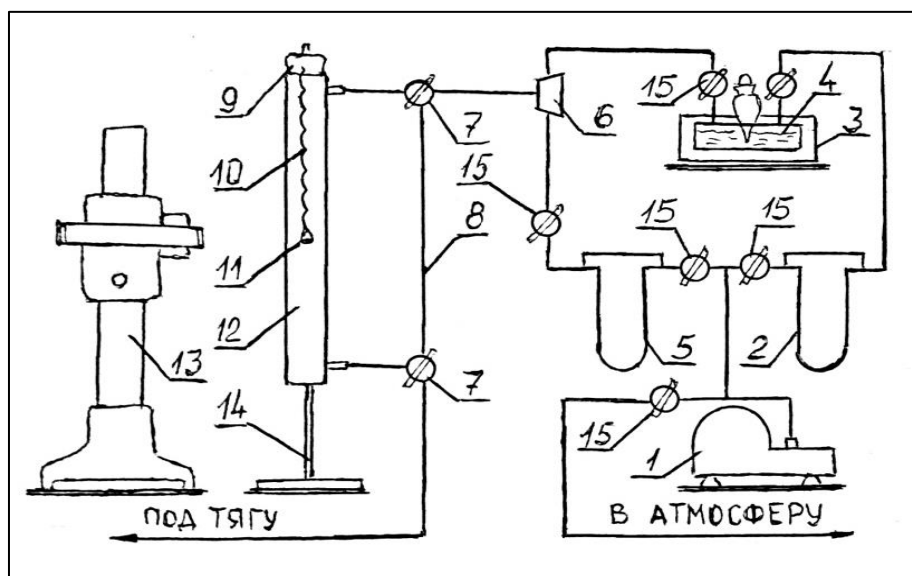


Рисунок 21 -. Схема установки для изучения кинетики и равновесия адсорбции:

1 – воздушный компрессор; 2, 5 – реометры; 3 – термостатирующая ёмкость; 4 – сосуд с органическим растворителем («гусёк»); 6 – смеситель; 7 – трехходовой кран; 8 – байпасная магистраль; 9 – крышка адсорбера; 10 – кварцевая пружина; 11 – корзинка с адсорбентом; 12 – реактор; 13 – катетометр; 14 – штатив

Выполнение каждого эксперимента состояло в том, что посредством заранее откалиброванных реометров 2 и 5 обеспечивали смешивание в устройстве 6 в заданном отношении потоков чистого воздуха и воздуха, насыщенного парами растворителя, направляя результирующий поток при его отладке по байпасной линии 8 в лабораторный вытяжной шкаф. По завершении отладки этого потока, его направляли в адсорбер одновременным поворотом трехходовых кранов 7 с фиксацией времени начала эксперимента. Через заданный промежуток времени оба трехходовых крана вновь переключали с целью направления паровоздушной смеси в обход адсорбера по байпасной магистрали, отмечая время этого переключения. По успокоении качаний калиброванной по массе кварцевой спирали в адсорбере осуществляли фиксацию ее растяжения посредством катетометра. Далее эти операции многократно повторяли до прекращения растяжения кварцевой спирали. Путём умножения чувствительности спирали (в г/мм) на величину ее растяжения (в мм) определяли удельную величину поглощения пара растворителя (в мг/г).

2.4. Аналитические определения

2.4.1. Приёмы и методики оценки пористой структуры

Пористую структуру исследуемых углеродных материалов при текущих массовых определениях оценивали с привлечением метода «молекулярных щупов», используя расчётные показатели объёма сорбирующих пор V_s при поглощении ими при комнатной температуре насыщенных паров H_2O , CCl_4 , C_6H_6 эксикаторным методом, путём кипячения в воде навесок адсорбентов при установлении величин их суммарной пористости по воде V_Σ , посредством поглощения йода и красителя метиленового голубого (метиленовой сини) из их растворов [119]. Для оценки пористой структуры целевых продуктов термической переработки отходов,

полученных в рациональных условиях, дополнительно привлечён метод низкотемпературной адсорбции-десорбции азота [113] с использованием автоматизированного оборудования центра коллективного пользования РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Йодное число – это масса молекулярного йода, адсорбированная навеской адсорбента из водного раствора йода заданной концентрации. Атомный радиус йода 0,136 нм, ионный радиус (для I^-) 0,206 нм, молекула двухатомна, длина связи 0,266 нм [113]. Йод можно рассматривать как «молекулярный щуп» с размером молекул около 0,5 нм [114]. Следовательно, по величине поглощения йода можно судить о наличии в адсорбенте микропор с эффективными диаметрами более 0,5 нм и выделяемых иногда супермикропор с эффективными диаметрами 0,7–1,6 нм [127] (согласно [133] о наличии микропор с эффективными диаметрами 0,6–1,5 нм). За результат принимали среднее арифметическое двух параллельных определений при условии, что расхождение между ними не превышало 5 %.

Адсорбция метиленового голубого – масса красителя, поглощённая одним граммом адсорбента из раствора этого красителя. Размер молекулы метиленового голубого – 1,5 нм [133]. Показатель его адсорбции позволяет судить о поверхности поглотителя, образованной пора́ми с диаметром более 1,5 нм [133], то есть о содержании мезопор, имеющих большие размеры – 1,5–50 нм.

Осветляющую способность поглотителя вычисляли в мг/г, принимая среднее из двух параллельных определений при расхождении, не превышающем 5 %.

2.4.2. Газохроматографическое определение общего органического углерода в сточных водах

Существо определения в сточных водах общего органического углерода (ООУ) [380] состоит в хроматографическом разделении смеси из воздуха и CO_2 , получаемой при окислении насыщенным раствором персульфата калия пробы сточной воды, содержащей окисляемые органические загрязняющие вещества, с последующей индикацией процесса разделения детектором хроматографа по теплопроводности. Процессы окисления выполнены в кислой среде при повышенном давлении и температуре на уровне 250 °С в

герметичном стальном реакторе, состоящем из корпуса и навинчивающейся на него крышки. Крышка имеет внутри полость и снабжена отверстием для размещения мембраны и штуцерами, через которые заливали воду для ее охлаждения.

Нагрева реактора осуществляли в тепло изолированный шнуровой асбест цилиндрической печи с электрической обмоткой из нихромовой проволоки. Температуру в печи регулировали подключённым к обмотке автотрансформатором и измеряли термопарой, соединённой с потенциометром.

Собственно анализ выполнен с использованием газового хроматографа «ЦВЕТ 500М», компоновку которого характеризует на рисунке 22.

Реактор готовили промыванием дистиллированной водой. Ее же заливали через штуцеры внутрь крышки реактора для ее охлаждения в процессе нагревания, соединяя затем между собой штуцеры резиновым шлангом. В отверстие крышки вставляли мембрану из термостойкой силиконовой резины толщиной ~3 мм.

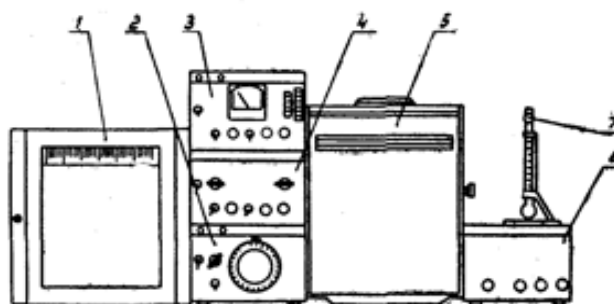


Рисунок 22 - Схема установки для определения

ООУ на базе хроматографа «Цвет 500М»:

1- потенциометр; 2 - блок программирования; 3 – блок управления; 4 - блок усилителя постоянного тока или измеритель малых токов (ИМТ– 0,5); 5 – блок анализатора; 6 – блок подготовки газов; 7 - пенный расходомер

В разогретый до 250 °С реактор с помощью шприца вводили 1 мл пробы анализируемой сточной воды, 1,5 мл свежеприготовленного раствора персульфата калия и три капли концентрированной фосфорной кислоты. Затем реактор герметично закрывали навинчивающейся крышкой и вставляли его ровно на 3 минуты в разогретую печь, после чего нагрев печи прекращали, извлекали реактор за

резиновый шланг, соединяющий штуцера крышки, и охлаждали его снаружи потоком холодной воды в течение 2-х минут. После охлаждения крышку реактора промокали фильтровальной бумагой и, проколов иглой шприца её резиновую мембрану, отбирали в шприц газовую фазу. Отобранную пробу в количестве 1 мл вводили шприцем в испаритель хроматографа, фиксируя на диаграммной ленте самопишущего прибора появляющийся пик диоксида углерода. Аналогично проводили холостой опыт с пробой дистиллированной воды, не содержащей органических соединений. Содержание углерода в анализируемой пробе (C_{OOY}) определяли, пользуясь предварительно подготовленным калибровочным графиком, по высоте пиков диоксида углерода, измеренных при рабочем и холостом опытах:

$$C_{OOY} = f (H_{CO_2} - H^*_{CO_2}),$$

где H_{CO_2} - высота пика диоксида углерода, определённая при рабочем опыте, мм;
 $H^*_{CO_2}$ - высота аналогичного пика диоксида углерода, замеренная при холостом опыте.

При содержании в пробе ООУ, превышающем 400 мг/л, проводили её разбавление в самом реакторе. Для разбавления в реактор специальным калиброванным шприцем помещали $0,1 \div 0,5$ мл подлежащей анализу пробы сточной воды и доводили этот объем пробы точно до 1 мл дистиллированной водой. Разбавление учитывали при вычислении результатов анализа.

Определение (при необходимости) содержания неорганического углерода ($C_{ну}$) проводили без использования окислителя. В реактор пипеткой вносили 1 мл пробы сточной воды, добавляли пять капель концентрированной фосфорной кислоты, закрывали реактор и осуществляли далее нагрев, охлаждение и определение количества диоксида углерода аналогично описанному выше по калибровочному графику.

2.4.3. Определение содержания влаги

Влагосодержание исследуемых материалов оценено в работе с привлечением аналитической методики, охарактеризованной в государственном стандарте [131].

2.4.4. Определение сухого и прокалённого остатков

Оценка величин сухих и прокалённых остатков в работе выполнена согласно методикам, изложенным в [131].

2.4.5. Определение зольности

Зольность образцов в работе определяли прокаливанием их навесок в фарфоровых тиглях в электрической муфельной печи согласно стандарту [131].

2.4.6. Определение насыпной плотности

Стандарт [131], регламентирующий определение насыпной плотности, в работе не использован, что связано с необходимостью наработки значительного объёма образца (120–140 мл на одно испытание). В этой связи насыпную плотность (в г/л) определяли (с точностью до 0,1) по разности масс пустого градуированного цилиндра рабочим объёмом 10 см³ и его же, заполненного до уровня верхней риски при постукивании о стенку карандашом высушенными при 105 °С зёрнами образца. За результат принимали среднее арифметическое трех определений при условии, что расхождение между ними не превышало 1,5 % абс. от среднего арифметического значения.

2.4.7. Определение прочности при истирании

Определение прочности целевых материалов при истирании выполнено в работе в соответствии с методикой, изложенной в [131] с использованием стандартных прибора по МИС-60-8 и сита № 10.

Прочности Π испытуемого материала при истирании (в %) вычисляли по формуле:

$$\Pi = 100 \cdot m / M, \quad (2.4)$$

где M и m - масса (в г) навески оставшегося при просеивании на сите материала соответственно до и после его испытания на истирание.

За результат принимали среднее арифметическое двух определений при условии, что расхождение между их результатами не превышает 3 %.

2.5. Особенности оценки результатов выполненных измерений и их достоверность

Точность выполненных в работе измерений в основном связана с операциями взвешивания и сопряжена с точностью названных и частично охарактеризованных выше аналитических методик, в своём большинстве про диктованных требованиями государственных стандартов. Следование последним, само по себе, гарантирует достаточно высокую надёжность получаемых результатов.

Вместе с этим трудности количественного извлечения из металлических реакторов пиролиза сырья и активации карбонизатов водяным паром, обусловленные явлениями частичного спекания науглероженных продуктов с их внутренними стенками, коррозии и пылеобразования, обусловили расхождения в определениях их выхода в пределах ~0,2-12,3 %.

Необходимо отметить и относительную достоверность полученных в работе величин сухих (и, следовательно, прокалённых) остатков. Известно, что при высушивании гидрокарбонаты могут трансформироваться в карбонаты с выделением CO_2 и H_2O [319], а массы (концентрации) органических примесей ограничены таковыми, имеющими температуры кипения, существенно превышающие 105 °С, нелетучими с водяным паром и не разлагающимися при указанной температуре.

Очевидную условность, чётко не оценённую в работе в силу определённых трудностей, имеет допущение равенства суммарного объёма слитой из бутыли-аспиратора воды объёму неконденсирующихся газов, выделившихся в процессах пиролиза растительных отходов и активации их карбонизатов водяным паром.

2.6. Сопоставительный анализ исследованных отходов как сырья для получения углеродных адсорбентов

Сопоставленные в таблице 10 показатели позволяют отметить ряд практически значимых обстоятельств. Так, среди характеризуемых отходов наибольшую

гравиметрическую плотность имеют подготовленные к исследованиям фрагменты СКО ($0,63 \text{ кг/дм}^3$) и СКС ($0,50 \text{ кг/дм}^3$), таковую в пределах $0,25\text{-}0,34 \text{ кг/дм}^3$ – ОСМ, ЖД, ГП и КПТ, минимальна ее величина ($0,11 \text{ кг/дм}^3$) для РШ, что весьма значимо для оценки размеров и количества тарных и иных емкостей соответствующего технологического оборудования. Рисовую шелуху отличает и сравнительно малая прочность при истирании ($90,2 \%$), находящаяся в пределах $98,00\text{-}99,99 \%$ для других отходов, образующих по этому показателю убывающий ряд: $\text{ОСМ} > \text{СКС} > \text{ЖД} > \text{ГП} > \text{КПТ} > \text{СКО} > \text{БР}$, что свидетельствует о наибольшей среди названных отходов возможности образования при ее переработке мелких фракций, включая пылевидные. Она же имеет максимальную величину показателя зольности ($22,57 \%$), что связано с высоким содержанием в ней соединений кремния. Минимальна эта величина для ЖД ($0,13 \%$), что не характерно для иных пород древесины [62, 76, 247, 248]. Существенно превышает этот показатель ($2,29 \%$) и опубликованные данные [64, 227, 234] для ГП стран СНГ, согласно которым обычная норма для абсолютно сухих отходов возделывания хлопчатника находится в пределах $0,3\text{-}1,0 \%$. Содержание влаги для большинства воздушно сухих отходов находится в интервале $5,6\text{-}8,7 \%$, исключение составляют ГП ($W = 2,7 \%$) и относительно свежие БР ($W = 13,0 \%$).

Сопоставление данных таблицы 12 свидетельствует, что среди характеризующихся материалов наиболее высокое содержание углерода свойственно отходам косточкового сырья (СКО, СКС), обычно обеспечивающим получение углеродных адсорбентов повышенной механической прочности с развитой микропористой структурой [110, 121, 168]. Несколько меньше эта величина у ЖД, достаточно хорошо совпадающая с таковой для указанных в таблице 12 по данным [54, 248] показателей древесины березы и сосны, активация карбонизированных продуктов пиролиза которых водяным паром приводит к получению активных углей со значительной долей мезопор [109, 110]. Одревесневшие остатки выращивания хлопка (ГП) характеризует еще более низкое содержание углерода ($47,34 \%$), которое минимально для ОСМ ($44,31 \%$) и РШ ($38,96 \%$), что, вероятно, будет усугублять фактор образования переходной пористости целевых продуктов технологии парогазовой

активации. Наибольшее количество кислорода свойственно массиву ОСМ, минимальное – РШ. Заметное содержание азота отличает ЖД, ОСМ, СКС и РШ, что может сказываться на поглотительной способности получаемых на их основе углеродных адсорбентов.

Анализ данных таблиц 11 и 12 указывает на в целом низкое содержание примесей неорганического характера в рассматриваемых отходах, не превышающее 0,03–0,98 %. Низким является, в частности, присутствие серы, часто обуславливающее проблемы газоочистки при термической переработке сырья [291, 293, 315]. Исключение составляет кремний, в существенно больших величинах присутствующий в РШ и СКС. Тем не менее, наличие ряда указанных примесей может влиять как на выщелачивание получаемых углеродных адсорбентов в обрабатываемых ими жидкофазных потоках и средах, так и на их ионообменные свойства.

В таблицу 16 сведены показатели степени деструкции образцов отходов в токе баллонного азота и при стеснённом произвольном доступе воздуха при кратных 100 °С температурах по данным выполненной термогравиметрии (первичная экспериментальная информация охарактеризована в приложении П 1.)

Таблица 16 - Сравнительные данные термогравиметрии образцов отходов в атмосферах баллонного азота и воздуха (в) при кратных 100 °С температурах
(интенсивность нагревания 9 °С/мин)

Сырье		Степень деструкции (%) при температуре, °С								
вид	навеска, мг	100	200	300	400	500	600	700	800	~900
СКО	345,5	~0	10,91	48,31	61,74	69,22	75,20	78,93	82,67	86,24
СКО в	367,3	2,7	8,2	51,7	69,5	76,3	81,7	88,6	94,0	99,5
РШ	536,4	~0	8,20	20,79	53,88	63,20	70,19	74,38	78,58	82,20
РШ в	481,2	5,2	9,4	47,8	56,1	61,3	65,5	70,7	72,8	82,1
ЖД	354,4	7,90	14,50	25,11	58,69	64,33	72,23	77,31	81,83	83,52
ЖД в	388,0	9,66	13,92	31,96	61,60	71,13	80,93	86,08	94,84	+2,45
ОСМ	458,8	4,14	7,95	34,10	68,98	77,05	85,10	87,51	91,87	98,20
ОСМ в	466,6	4,24	7,82	33,4	68,27	77,5	83,51	88,0	93,72	+1,4

Продолжение таблицы 16										
Сырье		Степень деструкции (%) при температуре, °С								
вид	навеска, мг	100	200	300	400	500	600	700	800	~900
СКС	574,1	4,88	5,40	36,59	48,78	70,56	74,91	76,65	78,40	80,14
СКС в	621,6	4,8	11,2	51,4	81,99	86,8	91,6	96,5	98,1	99,5
ГП	188,6	7,44	8,51	51,06	72,34	75,00	76,60	82,98	87,23	96,81
ГП в	250,5	7,45	10,00	62,00	73,11	79,4	88,8	95,2	97,6	97,8
КПТ	998,7	7,89	9,20	22,45	41,52	67,16	70,92	72,30	73,59	74,75
КПТ в	999,9	-	6,90	-	82,93	93,70	96,00	96,50	97,00	97,56
БР*	1000,0	-	7,80	-	84,35	92,00	92,30	94,07	95,00	96,00

* условия определения указаны выше (см. раздел 2.2.3).

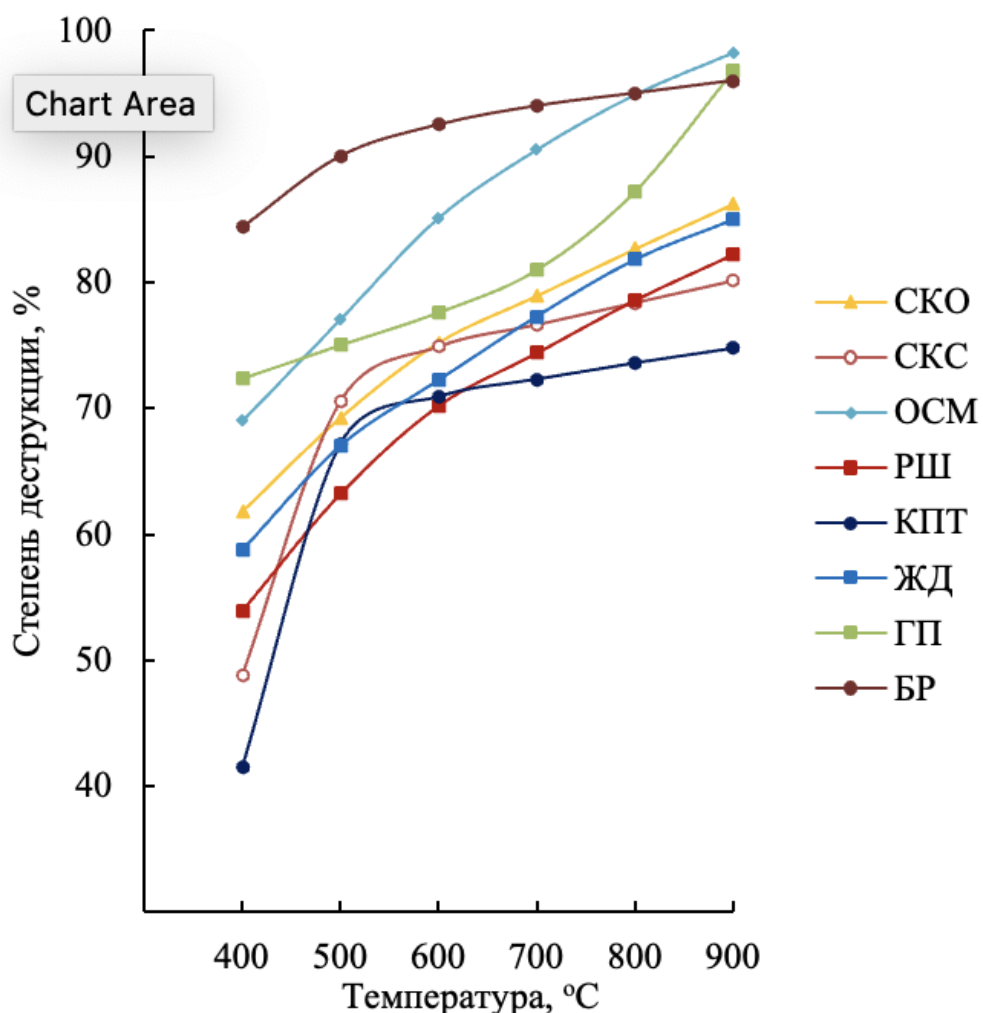


Рисунок 23 - Характер термической деструкции (потери массы) воздушно-сухих порошков отходов при их нагревании в идентичных условиях в атмосфере азота

Графическое представление данных таблицы 16 (рисунок 23) обеспечивает более наглядное их сопоставление.

Анализ данных таблицы 16, как и рисунка 23, свидетельствует о различии термической стабильности испытанных отходов и характера ее изменения в зависимости от температуры в атмосфере азота. По величине показателя предельной (при 900 °С) деструкции использованные отходы образуют убывающую последовательность вида КПТ<СКС<РШ<ЖД<СКО<БР<ОСМ<ГП, хотя при иных температурах в интервале 400–900 °С подобные последовательности имеют иной вид, меняя позиции в них характеризующихся отходов. Зависимости степени разложения отхода от температуры в указанном интервале схожи по форме (выпуклы к оси абсцисс) для КПТ, СКС, РШ, ЖД, СКО, БР и ОСМ, тогда как для ГП, напротив, данная зависимость имеет вогнутый характер.

Характеризуемые зависимости (кроме таковой для ГП) имеют ярко (БР, СКС, КПТ) или менее четко (ОСМ, СКО, ЖД, РШ) выраженные два участка различной интенсивности термической деструкции отходов. Первый из них соответствует области температур от 400 до ~625 °С и более значимой скорости разложения названных материалов, чем второй для участка ~625-900 °С. Для ГП практически линейная на первом температурном участке зависимость приобретает выраженную выпуклость к оси абсцисс на втором, свидетельствуя об увеличении интенсивности деструкции испытываемого образца в отличие от таковых других отходов.

Равномерная интенсивность нагревания образцов отходов при их термографических исследованиях (~9 °С/мин.) позволяет оценить среднюю скорость потери ими массы на обоих температурных участках, пользуясь представленными выше данными таблицы 16 и рисунка 23. Результаты выполненной оценки сведены в таблицу 17.

Таблица 17 – К анализу результатов термогравиметрических испытаний образцов отходов по данным таблицы 16

Отход	Навеска, мг	Характер потери массы на температурном участке:							
		400–625 °С				625–900 °С			
		% распада	масса, мг	время, мин	скорость, мг/мин	% распада	масса, мг	время, мин	скорость, мг/мин.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СКО	345,5	61,74	132,25	44,4	-	76,13	82,47	69,4	-
		14,39	49,78	25,0	1,99	10,11	34,93	30,6	1,14
РШ	536,4	53,88	247,39	44,4	-	71,24	154,27	69,4	-
		17,36	93,12	25,0	3,70	10,96	39,86	30,6	1,30
ЖД	354,4	58,69	146,40	44,4	-	73,50	93,92	69,4	-
		14,81	52,48	25,0	2,09	10,02	35,51	30,6	1,16
ОСМ	458,8	68,98	142,37	44,4	-	85,70	70,61	69,4	-
		16,72	73,81	25,0	2,95	12,50	71,76	30,6	2,34
СКС	574,1	48,78	294,05	44,4	-	75,35	142,52	69,4	-
		26,57	152,54	25,0	6,10	4,79	27,50	30,6	0,9
ГП	188,6	72,34	52,17	44,4	-	78,19	41,15	69,4	-
		18,62	35,12	25,0	1,40	5,85	11,03	30,6	0,36
КПТ	998,7	41,52	414,56	44,4	-	71,27	286,93	69,4	-
		33,23	331,87	25,0	13,27	29,75	297,11	30,6	9,70
БР	1000,0	84,35	156,50	44,4	-	92,74	77,60	69,4	-
		8,39	83,90	25,0	3,36	3,26	32,60	30,6	1,06

Примечания:

- в верхней строке горизонтальной позиции каждого отхода значения столбцов (ст.) 3 и 7 взяты из данных таблицы 16 при 400 °С и определены по ее данным для 625 °С, соответственно; в нижней строке оценены как разность показателей при ~900 °С таблицы 15 и ст.7 верхней строки (ст. 3) и вычислены как разность ст. 7 и 3 верхней строки (ст. 7);
- значения в верхних строках столбцов 4 и 8 определены при 400 (ст. 4) и 625 °С (ст. 8) с учетом массы навески и соответствующих степеней деструкции; в нижних строках – как разности масс при 400 и 625 °С (ст. 4) и 625 и 900 °С (ст. 8) с использованием данных таблицы 15;
- величины показателей верхней строки столбцов 5 и 9 установлены как частности деления соответствующих температур на скорость нагревания образцов (9 °С/мин.); а нижней строки - как разности показателей столбцов 5 и 9 верхней строки (ст. 5) и разности между общей длительностью испытания (100 мин.) и временем достижения температуры 625 °С (ст. 9);
- показатели нижних строк столбцов 6 и 10 вычислены путем деления изменения массы образца на соответствующем температурном участке на время этого изменения.

Из данных таблицы 17 следует, что по величине интенсивности термической деструкции в интервале 400-625 °С отходы образуют убывающую последовательность: КПТ>СКС>РШ>БР>ОСМ>ЖД>СКО>ГП, тогда как в интервале 625-900 °С аналогичная последовательность имеет вид: КПТ>ОСМ>РШ>ЖД>СКО>БР>СКС>ГП.

Сопоставление этих последовательностей с определенными рентгенофлюоресцентным методом данными таблицы 12 для углерода и кислорода, как наиболее массовых химических элементов отходов, характеризуемых убывающими рядами ГП>ЖД>СКО>БР>КПТ>СКС>ОСМ>РШ и РШ>ОСМ>СКС>БР>КПТ>ЖД> СКО>ГП, соответственно, указывает на отсутствие корреляции между показателями названной деструкции и содержанием указанных компонентов.

Отсутствует такая корреляция и с представленными в таблице 10 показателями использованных образцов отходов, формирующими последовательности

СКО>СКС>КПТ>ЖД=ГП>ОСМ>БР>РШ для насыпной плотности, ОСМ>СКС>ЖД>ГП>КПТ>СКО>РШ>БР для прочности при истирании, РШ>БР>КПТ>ГП>ОСМ>СКС>СКО>ЖД для зольности и БР>ОСМ>СКО>ЖД>СКС>РШ>КПТ>ГП для влажности.

Особенный интерес в связи с рассматриваемыми корреляциями представляет вещественный состав использованных отходов, принадлежащих к лигноцеллюлозным материалам.

Содержание целлюлозы и лигнина в растительном сырье определяют с помощью различных методов, которые могут быть прямыми и косвенными. Прямые способы основаны на выделении компонентов в чистом виде, но при этом часто используют жёсткие приемы химического воздействия, которые вызывают изменения химического состава и молекулярной массы выделяемого компонента. Косвенные методы учитывают примеси и рассчитывают компонент по разности или с помощью характерных реакций [319].

Так, например, при использовании прямого азотно-спиртового метода оценки содержания целлюлозы образец обрабатывают азотно-спиртовой смесью, целлюлозу отфильтровывают, промывают и сушат. Для расчёта массовой доли чистой целлюлозы вносят поправку на остаточные пентозаны [320], а при применении одного из косвенных методов (по холоцеллюлозе) используют вычитание из её содержания нецеллюлозных полисахаридов [318].

Для количественного определения лигнина прямыми методами используют концентрированные минеральные кислоты (серную, соляную или их смеси), причем выделенный таким образом лигнин загрязнён примесями осмоления углеводов [321]. Поэтому методика анализа должна предусматривать установление точного состава этого продукта и внесение соответствующих поправок [318]. Среди косвенных методов используют, в частности, холоцеллюлозный, при котором содержание лигнина вычисляют как разность между массами проэкстрагированного образца и полученной из него холоцеллюлозы [322]. Получили распространение и спектроскопические методы. Например, при ИК-спектроскопии по интенсивности

аналитических полос поглощения рассчитывают содержание лигнина (1508–1512 см⁻¹) и целлюлозы (1059–1061 см⁻¹) в соответствующих образцах [323].

Таким образом, достоверная оценка наличия в лигноцеллюлозной биомассе целлюлозы (клетчатки), гемицеллюлозы и лигнина представляет весьма сложную аналитическую задачу, требующую объемных и разноплановых определений квалифицированных специалистов, точность результатов которых по ряду причин не всегда обеспечена [324, 325], в связи с чем их проведение в настоящей работе не представлялось целесообразным.

Наряду с этим имеющаяся информация [326-334] свидетельствует о широких пределах варьирования вещественного состава лигноцеллюлозных материалов, как на это указывают данные таблицы 18.

Таблица 18 – Содержание биокomпонентов и золы в растительных отходах по данным [326-334], % масс.

Биомасса	Целлюлоза	Гемицеллюлозы	Лигнин	Зола
СКО	20–30	15–30	до 50	до 3.2
СКС	40–50	25–30	15–30	~1–3
ОСМ	52–58	15–25	20–30	~1–3
РШ	25–35	15–25	20–31	15–20
КПТ	20–30	15–25	30–40	5–10
ГП	40–50	15–25	20–30	1–5
БР	30-40	20-30	25-35	2-4
ЖД	30-40	15-20	35-45	1-3

Таким образом, в соответствии с данными таблицы 18 по сокращающемуся показателю содержания целлюлозы характеризуемые отходы образуют ряд ОСМ>СКС=ГП>БР=ЖД>РШ>СКО>КПТ. Ряд для гемицеллюлоз выражает последовательность СКС>БР>ОСМ=РШ=КПТ=ГП>СКО>ЖД, для лигнина - СКО>ЖД>КПТ>БР>РШ>ОСМ=ГП>СКС. Согласно показателю зольности подобный ряд представляет последовательность РШ>КПТ>БР>ГП>СКО>СКС =ОСМ=ЖД.

Однако и данные последовательности не находятся в корреляции с приведёнными выше рядами для интенсивности термической деструкции отходов в интервалах 400-625 °С (КПТ>СКС>РШ>БР>ОСМ>ЖД>СКО>ГП) и 625–900 °С (КПТ>ОСМ>РШ>ЖД>СКО>БР>СКС> ГП).

Таким образом, изложенные сведения не позволяют констатировать четких общих связей состава и физических свойств отходов с их термической стойкостью. Оценивая информацию, приведённую в таблице 18 и отмеченную выше необходимость изучения процессов пиролиза рассматриваемых отходов в защитной атмосфере, необходимо подчеркнуть, что использование количественных показателей выполненных термографических анализов для процессов исследования пиролиза крупных масс отходов вследствие эффектов масштабирования в определённой степени является лимитированным их ориентировочным и приближенно описательным характером, свидетельствующим о тенденциях поведения испытуемых материалов при термическом воздействии в защитной и окислительной атмосферах.

ГЛАВА 3. РАЦИОНАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПИРОЛИЗА ОТХОДОВ, АКТИВАЦИИ ЕГО КАРБЕНИЗИРОВАННЫХ ОСТАТКОВ ВОДЯНЫМ ПАРОМ И НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛУЧЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Повсеместное наличие огромного количества отходов растительного происхождения, в том числе ежегодно возобновляемых, представляет, как отмечено в работе [335], высокий инновационный ресурс для получения разнообразной полезной продукции при их использовании в большой и малотоннажной химии. В работе [336] подчёркнуто, что активные угли, как универсальные адсорбенты с оптимальными сорбционными свойствами, широко используют при извлечении химических веществ из водных растворов. Однако производство и регенерация активированных углей торговых марок по-прежнему дороги, в связи с чем важность получения активных углей с использованием дешёвых сырья и методов остаётся актуальной. Эти же факты подчёркнуты в обзоре [337].

Изучение рациональных условий переработки охарактеризованных отходов на углеродные адсорбенты названными методами пиролиза и паровой активации выполнено с использованием экспериментальных установок лабораторных масштабов. Цель этих исследований заключалась в установлении значений ключевых параметров управления обоими процессами, обеспечивающих при технологически целесообразных энергетических затратах получение целевых продуктов с удовлетворительным ансамблем структурно-адсорбционных показателей, сопряжённым с максимально значимым выходом. Ниже с использованием фракций отходов, охарактеризованных в главе 2 (таблица 10), приведены и обсуждены результаты соответствующих испытаний. Специально выполненными оценочными исследованиями констатируется, что термическая деструкция абсолютно сухих отходов, обеспечивая лишь небольшое увеличение выхода целевых продуктов, приводит к возрастанию их зольности и обычно сокращению объёма сорбирующих пор и поглотительной способности по использованным тестовым веществам, указывая тем самым на низкую целесообразность использования данного сырья

ввиду, прежде всего, существенного увеличения энергетических затрат при его переработке.

3.1. Результаты установления рациональных условий пиролиза отходов, выходов продуктов, структурно-адсорбционных свойств и технических показателей науглероженных остатков

Ограниченность в доступных источниках современной научно-технической информации детализированных сведений о рациональных условиях карбонизации использованных отходов обуславливает необходимость экспериментального исследования влияния ключевых факторов этого процесса (интенсивности «*i*» нагревания сырья до конечной температуры «*t*», длительности «*τ*» его обработки при этой температуре, а также уровня последней) на рациональное сочетание показателей качества и выхода целевого продукта.

3.1.1. К обоснованию параметров, управляющих пиролизом отходов

Обоснование выбора целесообразных интервалов изменения управляющих параметров процессов пиролиза выполнено, исходя из данных термографических испытаний доставленных образцов отходов (см. приложение 2), детально освещённых в работах [291, 292, 304, 338-340], и ряда литературных сведений [47, 109, 121, 125, 157, 175, 179, 187, 262, 263, 341-352]. Пределы варьирования названных факторов и рациональные величины их сочетания характеризуют данные таблицы 19.

Таблица 19 - Условия пиролиза отходов

Тип отхода	Область варьирования			Рациональные величины		
	<i>i</i> , °C/мин	<i>t</i> , °C	<i>τ</i> , мин	<i>i</i> , °C/мин	<i>t</i> , °C	<i>τ</i> , мин
БР	5 - 10	450 - 500	60 - 240	10	450 - 500	240
ГП	5 - 20	500 - 750	0 - 120	10	750	60
ЖД	10 - 20	525 - 700	30 - 180	15	550	60
КПТ	5 - 20	300 - 500	0 - 180	10	350	60
ОСМ	10 - 20	550 - 700	0 - 180	10	600	30
РШ	5 - 20	500 - 900	0 - 180	15	650	30
СКО	5 - 15	650 - 750	30 - 300	15	700	180
СКС	10 - 20	500 - 700	0 - 120	15	600	10

Данные таблицы 19 свидетельствуют, что по уровню жёсткости термической обработки при пиролизе, указывающему на величину энергетических затрат, использованные отходы представляют ряд: ГП>СКО>РШ>ОСМ>СКС>ЖД>БР>КПТ. Близкие условия карбонизации РШ с целью получения науглероженного энтеросорбента и кремнеуглеродного агента фиксации плавающих нефтепродуктов предложены в работах [24, 233, 335-337], и в меньшей степени для таковой, освещённой в публикации [233]. В случае пиролиза СКО и СКС они весьма близки таковым пиролиза фруктовых косточек и скорлупы орехов по данным работ [305, 336, 339]. Условия карбонизации ЖД соответствуют условиям пиролиза древесины ряда других пород [220, 236, 249, 258, 340]. Аналогичных сведений для ОСМ, БР и КПТ в доступной литературе не обнаружено.

3.1.2. Выход и технические характеристики целевых продуктов пиролиза

Согласно результатам исследований, выполненных при указанных в таблице 19 рациональных значениях управляющих параметров и детально освещённых в работах [14, 219, 261, 262, 274-276, 282, 358–366], полученные целевые продукты пиролиза отходов, о внешнем виде которых дают представление фотографии рисунка 24, характеризует ряд показателей, являвшихся в их совокупности критерием оперативной оценки их качества и отражаемых данными таблицы 19.



а



б



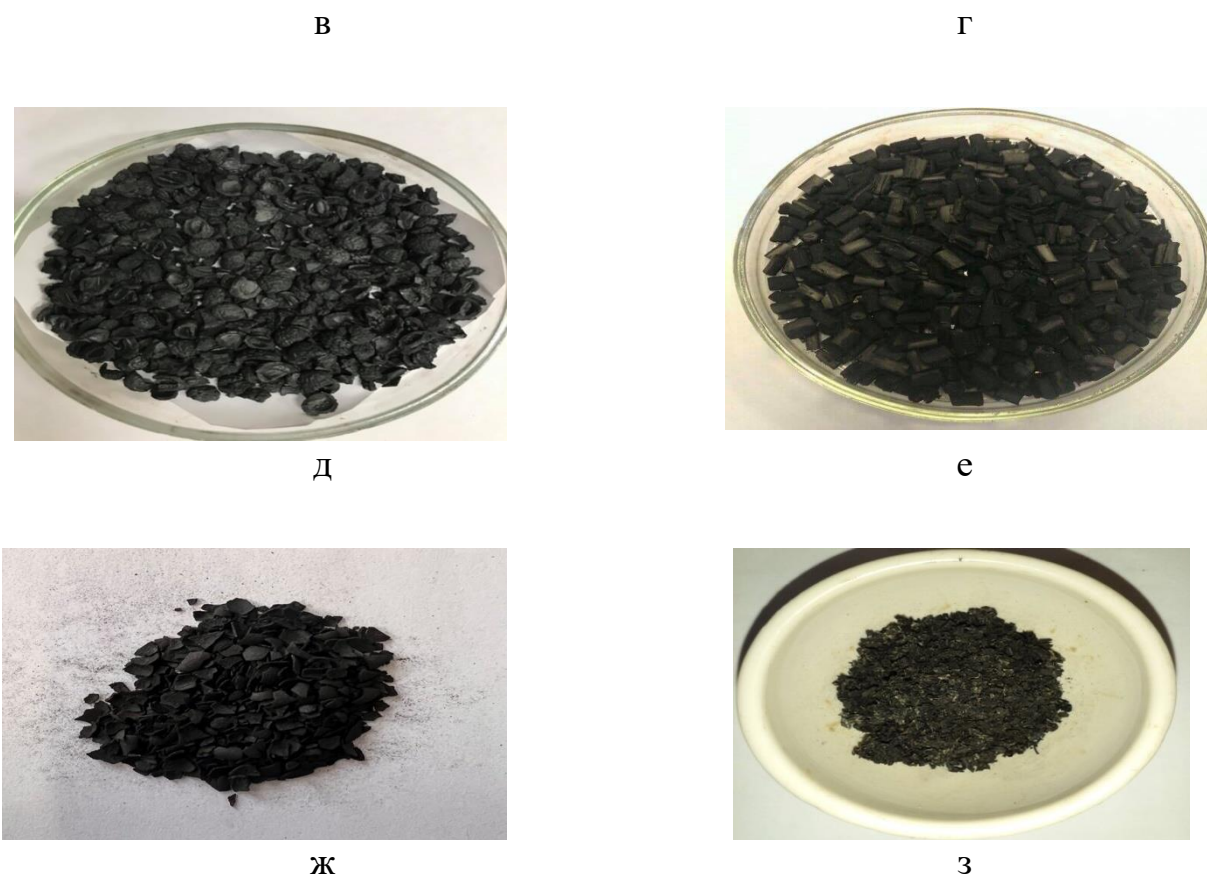


Рисунок 24 - Внешний вид массива зёрен продукта пиролиза СКО (а), РШ (б), ЖД (в), ОСМ (г), СКС (д), ГП (е), КПТ (ж) и БР (з)

Фрагменты полученных кусковых продуктов, как видно из фотографий рисунка 24, в их большинстве имеют преимущественно матовую поверхность и лишь таковые для ЖД и СКС обладают поверхностью с характерным металлическим блеском. Массовая доля мелких обломков и пыли для всех продуктов лабораторного пиролиза, кроме таковых БР, не превышает 1 %.

Таблица 20 - Структурно-адсорбционные характеристики и выход целевых продуктов пиролиза отходов

Показатель и его размерность	V_{Σ} , см ³ /г	$V_{\text{SH}_2\text{O}}$, см ³ /г	V_{SCCl_4} , см ³ /г	$V_{\text{S C}_6\text{H}_6}$, см ³ /г	I, мг/г	МГ, мг/г	Выход, %
Значения показателей для продуктов пиролиза							
БР*	1,30	0,13	0,01	0,02	355	45,0	41,0

ГП	1,38	0,13	0,03	0,13	70	8,4	26,1
ЖД	0,72	0,14	0,04	0,16	416	1,8	29,0
КПТ	0,70	0,23	0,08	0,04	445	320	46,0
ОСМ	0,87	0,13	0,05	0,17	294	3,6	24,8
РШ	1,37	0,12	0,08	0,11	71	307,0	42,4
СКО	0,16	0,15	0,03	0,16	403	5,3	25,3
СКС	0,62	0,10	0,10	0,14	88,7	4,6	31,8

* для продукта пиролиза при 450 °С без изотермической выдержки

Как следует из таблицы 20, наиболее значимые выходы (на уровне 40 % и выше) имеют продукты пиролиза КПТ, РШ и БР, существенно меньше (на уровне 25–30 %) таковые для СКС, ЖД, СКО, ГП и ОСМ. В частности, выход науглероженного продукта пиролиза древесины ЖД значительно отличается от такового, колеблющегося для многих других её разновидностей в пределах 33–38 % и значительно обусловленного породой древесины и режимом процесса пиролиза [76, 358, 347, 366, 367, 369]. Выход же полученного из РШ карбонизированного продукта (42,4 %) несколько превышает таковой (39,2 %) для пиролиза в атмосфере аргона при 650 °С образца РШ Кызылординской области Казахстана по данным работ [335, 350, 368, 370, 371].

Суммарный объем пор наиболее развит у продуктов пиролиза ГП, РШ и БР, для СКС, КПТ, ЖД и ОСМ он находится в пределах 0,6–0,9 см³/г и минимален у СКО. По доле микропор в величине V_{Σ} твёрдые остатки пиролиза образуют нисходящий ряд: СКО>КПТ>ЖД>СКС>ОСМ>БР>ГП>РШ, составляя 93,75–32,86–19,44–16,13–14,94–10,00–9,42–8,76 %, соответственно. Переходная пористость наиболее ярко выражена в случае КПТ и РШ.

Данные таблицы 20 свидетельствуют об относительно низкой величине V_{Σ} полученного продукта пиролиза СКО, но преобладании в нем микропор, на что указывают существенные показатели величин $V_{S_{H_2O}}$ и I наряду с низким значением поглощения МГ.

Относительно карбонизированного продукта пиролиза РШ, полученного в названных выше рациональных условиях, данные таблицы 20 свидетельствуют, что он представляет собой науглероженный материал со сравнительно низким содержанием активных в сорбционном отношении пор и, как следствие, довольно слабо выраженными поглотительными свойствами по тестовым веществам. Имея значительный выход и долю микропор на уровне ~20 %, он принадлежит к мало прочным и слабо активным науглероженным материалам с переходной пористостью (МГ 307 мг/г). Полученный из РШ углеродно-кремнезёмный продукт состоит из достаточно легко ломающихся пальцами руки частиц черного цвета, в преобладающей степени сохранивших форму и размеры её исходных частиц. Его особенностью, свидетельствующей о существенных изменениях РШ в процессе пиролиза, является наличие значительного количества науглероженных частиц с максимальным размером до 0,3 мм, являющихся, как свидетельствуют выполненные ЦКП различного разрешения микрофотографии поверхности фрагментов карбонизированного материала, следствием разрушения фрагментов исходной РШ. Цвет прокалённого на воздухе (озлённого) остатка этого продукта бело-серый. Эти факты вполне согласуются с информацией, приведённой в работах [336, 351–353, 369–375].

По величине показателя суммарного объема пор (V_{Σ}) полученные карбонизированные продукты пиролиза отходов образуют убывающую последовательность ГП>РШ>БР>ОСМ>ЖД>КПТ>СКС>СКО. Подобные последовательности для других показателей таблицы 20 формируют следующие ряды: для $V_{\text{сH}_2\text{O}}$ КПТ>СКО>ЖД>БР=ГП=ОСМ>РШ>СКС, для $V_{\text{сCCl}_4}$ СКС>КПТ=РШ>ОСМ>ЖД>ГП=СКО, для $V_{\text{сC}_6\text{P}_6}$ ОСМ>ЖД=СКО>СКС>ГП>РШ>КПТ>БР, для I КПТ>ЖД>СКО>БР>ОСМ>СКС>РШ>ГП, для МГ КПТ>РШ>БР>СКС>ЖД>ГП>СКО>ОСМ, для выхода КПТ>РШ>БР>СКС>ЖД>ГП>СКО>ОСМ. При этом ни одна из них не идентична приведенным выше последовательностям, в том числе таковым для интенсивности термической деструкции отходов (при 400 °С термическую стойкость отходов отражает ряд КПТ>СКС>РШ>ЖД>СКО>ОСМ>ГП>БР, при 625 °С - РШ=КПТ>ЖД>СКО>СКС>

ГП>ОСМ>БР). Элементный состав характеризуемых материалов иллюстрируют показатели таблиц 19 и 20.

Таблица 21 - Показатели элементного состава органической компоненты карбонизированных продуктов пиролиза отходов

Обозначение отхода	Содержание, % масс.					
	С	О	Н	N	S	Область оценки
БР*	58,96	19,65	8,85	5,32	6,98	массив
БР*	72,30	21,85	-	4,96	0,24	поверхность
ГП	50,20	7,19	6,32	-	-	массив
ГП	81,25	7,19	-	-	-	поверхность
ЖД	77,99	17,85	3,56	0,56	0,04	массив
ЖД	88,29	11,33	-	-	-	поверхность
КПТ	75,06	16,64	2,99	0,46	4,85	массив
КПТ	74,18	22,33	-			поверхность
ОСМ	78,10	19,30	2,80	-	-	массив
ОСМ	86,86	9,41	-	-	-	поверхность
РШ	35,55	41,21	0,54	0,03	-	массив
РШ	36,09	41,85	-	-	-	поверхность
СКО	68,95	34,44	5,38	-	-	массив
СКО	70,30	35,40	2,36	0,88	0,05	поверхность
СКС	85,37	10,20	3,99	0,44	-	массив
СКС	90,15	8,46	-	-	-	поверхность

* для продукта пиролиза при 450 °С без изотермической выдержки

Данные таблицы 21 позволяют констатировать, что по содержанию углерода в массиве продукты пиролиза использованных отходов образуют нисходящий ряд СКС>ОСМ>ЖД>КПТ>БР>СКО>ГП>РШ, по концентрации кислорода - РШ>СКО>БР>ОСМ>ЖД>ГП>КПТ>СКС и по наличию водорода - БР>ГП>СКО>СКС>ЖД>КПТ>ОСМ>РШ, что не соответствует таким же данным для

сырьевых материалов (таблица 11), когда аналогичные ряды для углерода выражает последовательность СКО>БР>СКС>КПТ>ЖД>ГП>ОСМ>РШ, для кислорода - ОСМ>ГП>ЖД>БР>КПТ>СКС>СКО>РШ и для водорода - БР>ЖД>СКС>СКО>КПТ>ОСМ>ГП>РШ. Наряду с этим приведённые в таблице 18 величины для продуктов пиролиза БР, РШ, КПТ и СКО по ряду позиций существенно отличаются от имеющихся в доступных источниках информации [337-340, 354-357, 374-377].

Таблица 22 содержит осреднённые данные о характере и наличии минеральных примесей в произвольно выбранных точках поверхности фрагментов образцов карбонизированных отходов, полученные ЦКП в виде спектров, подобных представленным на рисунках 22 и 23.

Таблица 22 - Осреднённые величины содержания минеральных примесей на поверхности фрагментов карбонизированных продуктов пиролиза отходов

Обозначение отхода	Элемент и его содержание в % масс.					
	Si	Na	Mg	K	Ca	Cl
СКО	0,46	0,10	0,07	-	-	-
РШ	42,57	-	-	0,62	0,08	-
ЖД	-	0,11	0,02	-	0,26	-
ОСМ	-	-	0,19	0,37	0,67	1,40
СКС	-	-	-	0,25	1,14	-
ГП	-	0,11	0,04	8,48	1,56	0,06
КПТ	-	-	-	0,43	1,89	-
БР			0,29	1,11	1,26	2,13
Обозначение отхода	Элемент и его содержание в % масс.					
	Al	Zn	Zr	P	Fe	S
СКО	-	-	-	-	-	-
РШ	-	-	-	-	-	-
ЖД	-	-	-	-	-	-
ОСМ	0,23	0,76	0,58	-	-	-
СКС	-	-	-	-	-	-
ГП	-	-	-	1,31	-	-
КПТ	-	-	-	-	-	0,42
БР	0,38	-	1,97	0,42	1,80	0,09

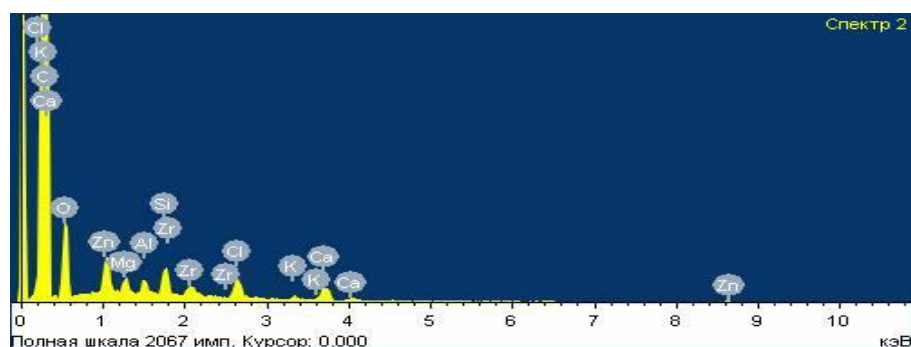


Рисунок 25 - Спектр отдельной точки поверхности фрагмента карбонизата ОСМ

Суммарное содержание минеральных элементов на поверхности фрагментов продуктов пиролиза отходов увеличивается в ряду ЖД<СКО<СКС<КПТ<ОСМ<БР<ГП<РШ, существенно разнящимся с таковым для сырья (ЖД<БР<СКО<ОСМ<ГП<КПТ<СКС<РШ), приведённым в таблице 12, хотя в обеих последовательностях их возглавляет ЖД и завершает РШ, но количественный и элементный составы компонентов этих рядов также различны. Обращает на себя внимание высокое содержание калия в целевых продуктах пиролиза ГП и БР, а также фосфора (ГП) и циркония (БР). Типичными примесями являются соединения Na, Mg, Ca и Cl. Некоторые физические свойства полученных пиролизом науглероженных остатков представлены в таблице 23.

Таблица 23 - Физические показатели целевых продуктов пиролиза отходов

Сырье	Размеры (мм) и форма фрагментов	d, кг/дм ³	A, %	W, %	П, %
БР	≤5, форма сохранена, значительная усадка	0,51	2,40	5,88	2,40
ГП	(7-12)х(3-5) цилиндры	0,19	5,60	1,90	86,23
ЖД	толщина 2,5-5,0, длина до 20, разные формы	0,21	1,62	5,91	98,00
КПТ	толщина ~1,0, длина до 15-20, близкие квадрату	0,14	10,40	3,02	98,50
ОСМ	5–10, сохранена форма частиц сырья	0,12	8,52	3,47	97,07
РШ	длина 0,7-0,9, ширина 0,2-0,4	0,11	48,50	6,06	44,75
СКО	(30-85)х(1,5-10), разные формы	0,54	4,71	8,00	98,00
СКС	3–5, разные формы	0,30	2,67	1,90	97,85

Пиролиз использованного сырья в целом приводит к значительному сокращению насыпной плотности (за исключением РШ) и некоторому - прочности при истирании карбонизатов в сравнении (таблица 10) с соответствующим сырьём (особенно выраженному для БР и РШ), небольшому расширению фракционного состава, весьма существенному увеличению зольности (кроме БР, для которых данный эффект обратен), значительному снижению содержания кислорода и водорода, и, напротив, увеличению углерода в органической части целевого продукта (таблицы 11 и 21).

Максимальную насыпную плотность, превышающую 0,50 кг/дм³, имеют согласно данным таблицы 23 продукты пиролиза СКО и БР, среднюю (0,2-0,3 кг/дм³) - СКС, ЖД и ГП, минимальную (0,11-0,14 кг/дм³) - КПТ, ОСМ и РШ. Высоким показателем прочности при истирании (86–98 %) обладают карбонизированные продукты пиролиза ГП, ЖД, КПТ, ОСМ, СКО и СКС, существенно более низок он для РШ и минимален для БР. Зольные остатки, находящиеся преимущественно в интервале 1,62–8,52 %, наиболее высоки у продуктов пиролиза РШ и КПТ. Величины параметров карбонизатов, охарактеризованных в таблице 23, образуют следующие последовательности: для показателя d - СКО>БР>СКС>ЖД>ГП>КПТ>ОСМ>РШ, для А - РШ>КПТ>ОСМ>ГП>СКО>СКС>БР>ЖД, для W - СКО>РШ>ЖД>БР>ОСМ>КПТ>ГП=СКС и для П - КПТ>ЖД>СКО>СКС>ОСМ>ГП>РШ>БР, также не имеющие четкой корреляции с приведенными выше последовательностями.

Результаты сведения материальных балансов процессов пиролиза использованных отходов отражают данные таблицы 24.

Таблица 24 - К материальным балансам операций пиролиза отходов

Продукты	Показатели выхода, % масс.							
	СКО	РШ	ЖД	ОСМ	СКС	ГП	КПТ	БР
Карбонизат	25,27	42,40	29,60	24,80	37,17	26,67	48,63	46,83
Конденсат	52,39	38,00	51,30	54,40	45,33	36,67	36,20	30,10

Неконденсирующиеся парогазы*	22,34	19,60	19,10	20,80	17,50	36,66	15,17	23,07
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100

* принято по разности

Данные о материальном балансе пиролиза отходов древесины ЖД, РШ, СКО, СКС и ГП, предоставленные в таблице 21, в целом довольно удовлетворительно согласуются с имеющимися литературными сведениями [2, 76, 112, 136, 311, 250, 251, 255, 302, 307, 347-349, 351, 367]. Данные таблицы 24 свидетельствуют также, что массы науглероженных продуктов пиролиза исследуемых видов сырья примерно в 1,2–3 раза меньше масс его побочных продуктов. Относительно ОСМ, КПТ и БР автором не обнаружено информации для сравнения.

Результаты ориентировочных материальных балансов операций пиролиза, оценённые по итогам испытаний лабораторного уровня с укрупнёнными массами соответствующих отходов, указывают на удовлетворительную сходимость статей прихода и расхода (в пределах 97,5–99,2 % масс. по отношению к приходу).

3.1.3. Показатели низкотемпературной адсорбции азота целевыми продуктами пиролиза отходов

Результаты оценки пористой структуры целевых продуктов пиролиза использованных отходов методом низкотемпературной адсорбции-десорбции азота характеризуют данные таблицы 25, частично освещённые в работах [29, 62, 52, 349, 350, 359, 360, 379–382] и также частично являющиеся следствием традиционной обработки с использованием сведений работ [107, 119, 110, 121, 351–357, 361–367, 379–385, 387] полученных ЦКП изотерм, представленных наряду с характеристиками распределения объёмов пор по размерам в приложении П-5. Адсорбционные измерения выполнены в ЦКП при температуре 77 К на автоматической адсорбционной установке ASAP-2020 фирмы Micromeritics, тренировка образцов осуществлена при температуре 300 °С в течение 6 часов при давлении менее 1 Па. Объёмы сорбирующих пор полученных карбонизатов наряду с показателями энергии адсорбции азота E_o и W^s сопоставлены в таблице 25.

Таблица 25 - Некоторые результаты оценки изотерм низкотемпературной адсорбции-десорбции азота образцами полученных продуктов пиролиза отходов

Образец	Объем пор, см ³ /г			E_o , кДж/моль	W^s , см ³ /г (по C ₆ H ₆)
	V_{mi}	V_{me}	V_{mi+me}		
К СКО	0,16	0,02	0,18	23,92	0,16
К РШ	0,10	0,02	0,12	19,78	0,08
К ЖД	0,16	0,15	0,31	18,04	0,15
К ОСМ	0,09	0,09	0,18	21,03	0,17
К СКС	0,14	0,11	0,25	19,43	0,18
К ГП	0,07	0,02	0,09	25,90	0,12
К КПТ	0,13	0,04	0,17	11,75	0,12
К БР	0,05	0,02	0,07	10,44	0,02

Как очевидно из зависимостей приложения П.5, согласно классификации БДДТ (Брунауэра С., Деминга Л., Деминга У., Теллера Э.) по внешнему виду

представленные изотермы низкотемпературной адсорбции азота могут быть охарактеризованы как частично принадлежащие первому структурному типу и в основном промежуточные между первым и четвертым типами [386, 388]. При этом изотермам адсорбции-десорбции азота всеми науглероженными продуктами пиролиза отходов, за исключением БР, свойственно наличие в разной степени выраженной незамкнутой петли гистерезиса, что указывает на присутствие в них переходных пор и затруднение десорбции части поглощённого азота, нетипичное для большинства адсорбентов и обусловленное, в частности, вероятным химическим связыванием молекул азота, обладающих квадрупольным моментом [379–382, 387, 389], кислотными центрами углеродной основы. При этом вклад гистерезиса в сорбционные процессы существенно различен, о чем свидетельствуют величины отклонения десорбционных ветвей от адсорбционных в точках завершения гистерезиса.

По убывающим величинам объёмов микро- ($V_{\text{ми}}$), мезо- ($V_{\text{ме}}$) и сорбирующих пор ($V_{\text{ми+ме}}$), как следует из данных таблицы 22, названные продукты образуют следующие существенно различающиеся последовательности: СКО=ЖД>СКС>КПТ>РШ>ОСМ>ГП>БР (различие в максимальном и минимальном значениях составляет 3,2), ЖД>СКС>ОСМ>КПТ>СКО=РШ=ГП=БР (аналогичное различие достигает 5,5) и ЖД>СКС>СКО=ОСМ>КПТ>РШ>ГП>БР (различие ~3,6), соответственно. По значениям характеристической энергии адсорбции (E_o) подобную зависимость отражает ряд: ГП>СКО>ОСМ>РШ>СКС>ЖД>КПТ>БР (различие ~2,5). Относительно W_s такой ряд составляет: СКС>ОСМ>СКО>ЖД>ГП=КПТ>РШ>БР (указанное различие равно 9).

Наряду с этим анализ данных таблицы 20 относительно оценённых в лаборатории величин $V_{\text{H}_2\text{O}}$, $V_{\text{C}_6\text{H}_6}$, I и $MГ$ указывает на их аналогичные последовательности, не соответствующие приведённым выше для показателей $V_{\text{ми}}$, $V_{\text{ме}}$, и $V_{\text{ми+ме}}$.

Для науглероженных остатков пиролиза отходов свойственны также оценённые по данным выполненных ЦКП измерений (приложение П.4) показатели удельной

поверхности, емкости монослоя и предельного объема микропор, охарактеризованные в таблице 26.

Таблица 26 - Структурные показатели образцов полученных продуктов пиролиза отходов

Продукт пиролиза	$S_{уд}, м^2/г$		По Д/Р		По Д/А	
	Ленгмюр	БЭТ	$S_{уд.ми}, м^2/г$	Ёмкость монослоя, $см^3/г$	$S_{уд.ми}, м^2/г$	Предельный $V_{ми}, см^3/г$
СКО	-	404,55	450,68	103,53	411,66	0,160
РШ	-	216,09	3,93	0,903	3,65	0,107
РШ	339,56	-	322,99	74,20	339,22	0,207
ЖД	345,80	-	338,91	77,85	264,35	0,11
ОСМ	450,16	-	428,45	987,42	454,51	0,16
СКС	-	411,50	472,40	108,52	381,83	0,16
ГП	-	433,55	463,50	196,47	463,57	0,17
ГП	-	433,55	475,68	109,27	472,93	0,177
КПТ	-	1,18	1,33	0,31	1,16	0,0006
БР	-	2,55	2,60	11,96	2,50	0,0015

По максимальным значениям параметров, охарактеризованных в таблице 26, их величины формируют следующие убывающие последовательности: по показателю $S_{уд}$ - ОСМ>ГП>СКС>СКО>РШ>ЖД>БР>КПТ, по показателю $S_{удми}$ (Д/Р) - ГП>СКС>СКО>ОСМ>ЖД>РШ>БР>КПТ, по показателю емкости монослоя - ОСМ>ГП>СКС>СКО>ЖД>БР>РШ>КПТ, по показателю $S_{удми}$ (Д/А) - ГП>ОСМ>СКО>СКС>ЖД>РШ>БР>КПТ, по показателю предельного объема микропор - РШ>ГП>СКС>ОСМ>СКО>ЖД>БР>КПТ. Эти ряды также не соответствуют приведенным выше.

Кривые распределения объемов пор по размерам (приложение П 2), характеризующие состояние первичной и вторичной супрамолекулярной структуры карбонизированных продуктов пиролиза отходов, падают в интервале 0,047–0,0015

см³/г по близким к линейным, за исключением КПТ, зависимостям с увеличением диаметра пор в области от ~1 до 100 нм.

Таким образом, согласно охарактеризованным выше результатам выполненных определений и литературным данным [103, 388, 390] целевые продукты пиролиза использованных отходов не могут быть отнесены к высококачественным углеродным адсорбентам. Однако, исходя из значений $V_{\text{ми}}$ и $V_{\text{ми+ме}}$, представленных в таблице 25, наиболее перспективными для активации водяным паром являются целевые продукты пиролиза СКО, СКС, ЖД и КПТ.

Следует отметить, что объёмный выход при пиролизе СКО в среднем составил ~29,4 %, что хорошо соответствует данным работ [97, 368, 372, 386, 389, 391] согласно которым при примитивных процессах выжигания угля на основе СКО при контролируемом доступе воздуха (рисунок 26) объем получаемого продукта не превышает 30 % объёма использованного сырья.



Рисунок 26 - Один из широко практикуемых примитивных способов кустарного производства угля из СКО

Исследования автора, связанные с использованием для пиролиза лишённых ворса (койра) фрагментов СКО, существенных положительных (в отношении структурно-адсорбционных свойств) изменений в весьма прочном целевом продукте не обеспечили, минимизировав, однако, образование пыли. Необходимо

подчеркнуть, что шелуху и скорлупу кокосовых орехов можно использовать в качестве топлива, они же хороший источник весьма ценного древесного угля [369, 387, 390, 393], в больших количествах потребляемого во многих тропических странах в качестве топлива в основном для бытовых нужд. Это обстоятельство при получении активных углей на основе СКО вероятно позволит ориентировать их производство в Мьянме на данный сравнительно дешёвый сырьевой источник.

3.1.4. Побочные продукты пиролиза отходов

Наиболее массовыми побочными продуктами исследованных процессов пиролиза отходов являются конденсаты и неконденсируемые при комнатной температуре газы. Их суммарная масса (таблица 24) существенно превышает массу целевых продуктов пиролиза, обуславливая с технологических позиций необходимость хотя бы примерного определения состава образующихся конденсатов и неконденсируемых газов и оценки возможных направлений использования обоих продуктов. Сведения о них, имеющиеся в доступных источниках научно-технической информации, достаточно неоднозначны, что, возможно, связано с отсутствием в подавляющем числе соответствующих публикаций детальных и чётких пояснений об условиях получения соответствующих экспериментальных данных и характеристиках объектов выполненных испытаний. Мелкодисперсные материалы в виде практически пылевых фракций карбонизированных отходов в большинстве случаев представляют весьма низкие доли от массы, как использованного сырья, так и целевых продуктов его пиролиза.

3.1.4.1. Конденсаты

Образовавшиеся при пиролизе отходов в указанных выше условиях конденсаты представляют собой обычно имеющие резкий характерный запах, мутные, темно окрашенные (в ряде случаев прозрачные) с желтоватым оттенком, не расслаивающиеся при хранении и негорючие жидкости плотностью обычно весьма близкой 1 кг/дм^3 . Экспериментальная оценка фракционного состава этих конденсатов

путём простой перегонки с использованием песчаной бани и фиксации температуры в паровой фазе привела к результатам, характеризуемым информацией таблицы 27.

Таблица 27 - Характеристика погонов конденсатов

Интервал кипения фракции, °С	Показатель					
	Выход, % об.	Цвет погона	Плотность, г/см ³	рН	Прозрач- ность раст- вора/расплава	Горю- честь
СКО						
20 – 95	0	—	—	—	—	—
95– 101	35,4	желтоватый	1	3	мутный	—
101 – 150	28,3	слабо желтый	1	3	мутный	—
Остаток	36,2	черно- коричневый	1,1	—	нет	+
РШ						
20-67	0	—	—	—	—	—
67 – 88	7,54	желтоватый	1	3	прозрачный	—
88 – 110	34,93	желтоватый	1	5	мутный	—
Остаток	57,53	черно- коричневый	1,4	—	нет	+
ЖД						
20-40	0	—	—	—	—	—
40-60	0	имитация кипения*	—	—	мутный	—
60-97	0	кипения нет	—	—	мутный	—
97-105	57,90	грязно-желтый	1,01	4	прозрачный	—
Остаток	41,40	темно- коричневый	1,04	—	нет	+
Потери	0,70	—	—	—	—	—
ОСМ						
20-90	0	—	—	—	—	—
90 – 115	65,58	слабо жёлтый	1	~3	мутный	—
Остаток	29,46	Темно коричневый	1	—	не прозрачный	—
Потери	4,96	—	—	—	—	—
СКС						

Продолжение таблицы 27						
Интервал кипения фракции, °С	Показатель					
	Выход, % об.		Выход, % об.		Выход, % об.	
20-96	0	—	—	—	—	—
96-103	56,67	жёлтый	1,07	~3	прозрачный	—
Остаток	36,99	черно- коричневый	1,10	—	нет	+
Потери	6,34	—	—	—	—	—
ГП						
20-40	0	—	—	—	—	—
40-60	0	имитация кипения*	—	—	—	—
60-98	0	—	—	—	—	—
98-105	58,49	грязно-жёлтый	1,01	4	прозрачный	—
Остаток	41,40	темно- коричневый	1,04	—	нет	+
Потери	0,11	—	—	—	—	—
КПТ						
20-40	0	—	—	—	—	—
40-60	0	имитация кипения*	—	—	—	—
60-97	0	—	—	—	—	—
97-105	15,55	грязно-тёмный	1,01	3	мутный	—
Остаток	84,45	темно-черный	1,80	3	нет	+
БР						
20-40	0	—	—	—	—	—
40-60	0	имитация кипения*	—	—	—	—
60-98	50,84	—	—	—	—	—
98-105	38,49	жёлтый	1,01	4	прозрачный	—
Остаток	12,35	темно-черный	1,2	5	нет	—

* периодическое образование и произвольное исчезновение газовых пузырьков в объёме жидкости без его изменения.

Конденсаты пиролиза использованных отходов характеризует значительный, но различный массовый выход (таблица 24), составляющий около 45–55 % для СКС, ЖД, СКО и ОСМ, но не превосходящий ~36-38 % для БР, КПТ, ГП и РШ. Предложения по утилизации их низкокипящих и имеющих кислый характер фракций (жижки) требуют с целью соответствующего обоснования достаточно детальных, объёмных и трудоёмких исследований, полагаемых автором мало рациональными на этапе разработки технологических основ характеризующихся термических процессов. Согласно литературным данным, эти фракции могут в значительных количествах содержать метиловый спирт, уксусную кислоту, различные растворители и некоторые другие вещества [341, 343].

При пиролизе, в частности РШ согласно [343, 381, 390-394] выход жидких продуктов её термолиза к 500 °С достигает 12 % (по данным же [306, 339, 341, 351, 353, 388, 389] при этой температуре он превышает 33 %), а после стабилизации конденсата в его составе идентифицировано 22 соединения, среди которых наиболее массовыми являются (в скобках указан их % от летучих веществ) гваякол (13-17), этил пирокатехин (9-13), кумарин (8-13), фенол (7-9), метоксиацетофенон (7-8), метоксифуран (5-15). В соответствии с [339, 341, 388, 393] конденсат пиролиза РШ представляет собой водный раствор, содержащий (в % по массе) карбоновые кислоты (22), фенолы (14), кетоны (12), циклические алифатические углеводороды (4,5), гетероциклические соединения (4), спирты и эфиры (4,5). В этой работе подчёркнуто, что характеризующий конденсат содержит около 6 % диоксибензолов (62 % которых представлены пирокатехином и его производными), используемых при производстве высокоселективных ионообменных смол. Благодаря этому конденсат пригоден в качестве сырья для получения полимерных композитов с глобулярной структурой, обладающих высокой поглотительной способностью по ряду катионов (As^{3+} , Sb^{3+} и др.), вследствие чего они могут быть использованы для реализации высокоселективных и высокоскоростных процессов сорбции и ионного обмена в различных отраслях экономики. Наряду с этим в работах [339, 341, 388, 393] отмечено, что органический конденсат представляет собой высокоселективный коллектор для минералов свинца при обогащении труднообогатимых свинцово-

цинковых руд. Перспективно и использование этого продукта в качестве вспенивателя в процессах флотации полиметаллических руд [343, 391, 392, 394].

Горячие кубовые остатки перегонки обладают хорошей адгезией к металлическим и деревянным поверхностям, а при остывании до комнатной температуры (температура начала застывания находится в интервале около 41 - 75 °С) трансформируются в вещества черного или черно-коричневого цвета, представляющие собой продукты упругой смолоподобной консистенции с блестящей поверхностью, подобной свежему гудрону, что свидетельствует о наличии у них определённого коммерческого потенциала и вероятной целесообразности их использования как средств защиты металлов от коррозии, антисептических агентов для пропитки деревянных конструкций и изделий для предупреждения их гниения, связующих при изготовлении дорожных покрытий и производстве топливных pellets, печных топлив или их компонентов и с рядом других целей, свойственных аналогичным продуктам пиролиза древесины [244, 262, 263, 344, 345, 387, 390, 392-396]. По имеющимся данным, в частности, для РШ нелетучую часть ее конденсата преимущественно составляют олигомеры конденсации фенольных веществ с альдегидами [341, 388, 391, 397].

3.1.4.2. Неконденсирующиеся газы

Неконденсирующиеся газы пиролиза использованных отходов (за исключением КПТ и БР), образующиеся в названных выше рациональных условиях его реализации на различных стадиях процесса, при повышенных температурах легко воспламеняются, что указывает на очевидное значительное содержание в них горючих компонентов. Их отобранные шприцами при различных температурах в реакторе пробы, подвергнутые газохроматографическому анализу [393, 396, 397] с привлечением хроматографа марки «Цвет100М», а также азота и водорода в качестве газов-носителей, обеспечили получение хроматограмм, частично представленных и обсуждённых в работах [261, 262, 275-280].

Сопоставительный анализ полученных данных в части условий образования и доли горючих компонентов неконденсируемых газов пиролиза характеризуют зависимости, представленные на рисунке 27 по табличным данным приложения П 6.

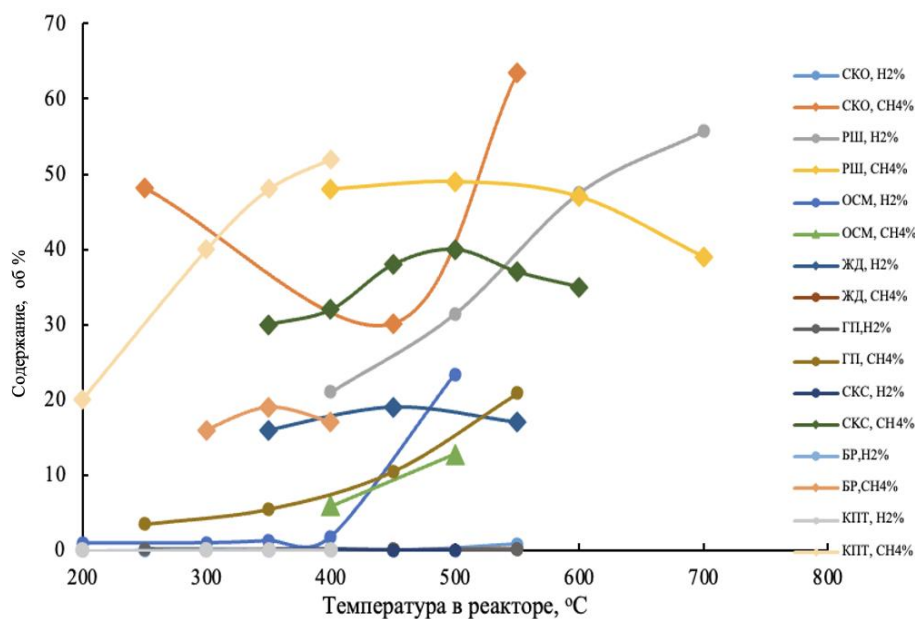


Рисунок 27 - Характер изменения доли горючих компонентов в составе неконденсируемых газов в зависимости от температуры пиролиза (интенсивность нагревания сырья ~ 10 °C/мин)

Неконденсируемым газам, как это очевидно из данных рисунка 27, свойственно качественное и количественное различие состава на разных этапах реализации процесса пиролиза наряду с отмеченным выше (таблица 16) значительным, но существенно различающимся массовым выходом. Следует отметить, что особенности выполнения в отобранных пробах неконденсируемых газов хроматографических определений с использованием, названных оборудования и средств в большинстве случаев, маскируют наличие оксида углерода, паров воды и отличных от метана (в частности, непредельных) углеводородов, демонстрируя, напротив, хорошую чувствительность к выявлению метана и водорода (в том числе в виде продукта процесса образования водяного газа [396, 397, 399], катализируемого образующимся при пиролизе отходов углеродом). Тем не менее, полученные данные указывают на возможность и целесообразность термического обезвреживания характеризуемых газов в составе дутьевого воздуха при сжигании используемого на

пиролитической установке топлива для полной или частичной компенсации энергетических нужд собственного производства. Практическое отсутствие серы в топливе и сырье гарантирует минимизацию экологической опасности выбросов в атмосферу продуктов сжигания, как топлива, так и названных неконденсируемых газов [299, 399].

Сравнение приведённой информации с доступными сведениями о составе газов пиролиза иных растительных и однотипных отходов свидетельствует об определённых и часто существенных различиях.

Так, содержание CO и CH_4 в названных газах пиролиза СКО весьма резко отличается от такового неконденсирующихся газов сухой перегонки древесины сосны и берёзы, содержащих (в % от ее абсолютно сухой массы) согласно [398-401] 9,96-10,13 CO_2 , 3,32-3,74 CO , 0,54-0,59 CH_4 и 0,19-0,23 непредельных углеводородов. В соответствии с осреднёнными значениями этих показателей до 30 % массы (~40 % объёма) таких газов составляют способные к тепловыделению при окислении (сжигании) компоненты, что и определяет возможность их использования в качестве топлива [399].

Основными компонентами неконденсируемых газов пиролиза РШ в соответствии с [339, 387, 390, 392] являются CO , CO_2 и CH_4 , причём более тяжёлые углеводороды присутствуют в них в количестве, не превышающем 2 %. Общее количество неконденсируемых газов и паров воды при пиролизе РШ в соответствии с данными таблицы 21 не достигает 20 %, а согласно [355, 358, 360] не превышает 50 % ее массы. По данным [250] неконденсируемые газы пиролиза РШ содержат (в % об.) 26–50 CO , 25-38 CH_4 , 10-38 CO_2 , 2-8 C_2H_4 и 2-3 H_2 . Такую смесь газов, как подчёркнуто в этой работе, можно использовать для получения сажи и в качестве высококалорийного газообразного топлива.

При проведении процессов пиролиза древесного материала ЖД в условиях отсутствия конденсации, с использованием методов хроматографического анализа установлено наличие значительных концентраций оксида углерода, метана и водорода, однако состав и временные характеристики указанных соединений непостоянны [398]. Согласно данным литературы [54], кроме 28 компонентов,

приведенных в таблице настоящего исследования, в продуктах термического разложения древесины также содержатся дополнительные химические вещества.

Газы пиролиза ОСМ, не конденсирующиеся при комнатной температуре, горючи и, согласно данным определений, выполненных с использованием газового хроматографа, содержат H_2 , CH_4 , CO и CO_2 , как об этом свидетельствуют, например, данные рисунка 28.

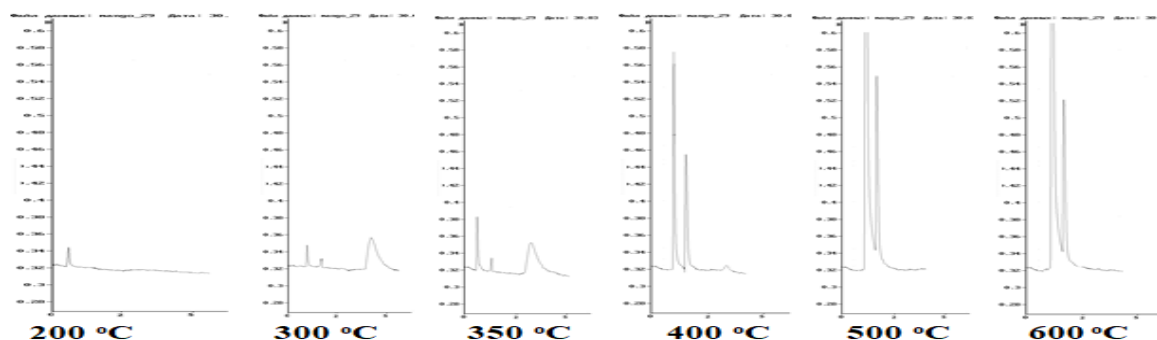


Рисунок 28 - Хроматограммы неконденсируемых газов пиролиза оболочек семян манго

Результаты обработки данных рисунка 28 представлены в таблице 28.

Таблица 28 - Показатели принадлежности пиков хроматограмм и объёмной доли компонентов в пробах неконденсируемых газов пиролиза ОСМ

Температура, °C	№ пика	Газ	Высота пика, мВ	% по объёму	Масса, г
200	1	H_2	24	1	0,004
300	1	H_2	26	1,02	0,007
	2	CO	12	1,00	0,005
	3	CO_2	38	12,67	1,020
350	1	H_2	64	1,30	0,005
	2	CO	19	1,00	0,005
	3	CO_2	37	22,25	1,800
400	1	H_2	254	1,80	0,007
	2	CH_4	134	5,89	0,172
	3	CO_2	26	15,64	1,200
500	1	H_2	2075	23,37	0,085
	2	CH_4	177	12,79	0,375
60*	1	H_2	2136	24,92	0,091
	2	CH_4	41	1,80	0,050

* при длительности выдержки 60 мин при 500 °C

Как следует из представленной информации, концентрации названных газов в характеризуемом побочном продукте пиролиза не постоянны в процессе нагревания сырья. При относительно низких температурах (200–350 °С) содержание H_2 и CO близко к 1 % по объёму (CH_4 практически отсутствует), в области 400–600 °С появляется метан, его содержание характеризует максимум в районе 500 °С (~12,8 % об.). Концентрация водорода в этом температурном интервале интенсивно возрастает с 1,8 до ~25 % об., причём оксид углерода в этой температурной области не фиксирован.

Аналогичны охарактеризованным выше горючесть и картина поведения при нагревании неконденсирующихся газов пиролиза других использованных отходов (СКС, ГП, КПТ и БР). Таким образом, неконденсируемые технологические газы пиролиза названных отходов, выход которых составляет от 15,17 до 36,66 % масс. и для ГП даже превышает таковой целевого продукта (таблица 22), как и остатки перегонки соответствующих конденсатов (их выход согласно данным таблицы 27 находится в пределах 29,46–84,45 % об.), являются горючими материалами с достаточно высокой теплотворной способностью.

3.2. Исследование жидкофазного обеззоливания продукта пиролиза смеси фрагментов букетов роз

В разделе 2.2.8 отмечена целесообразность исследования пиролиза растительных отходов в виде БР с минимальными тепловыми затратами в температурном интервале 450–500 °С. Наряду с этим при получении углеродных адсорбентов на основе схожего по природе сырья (опилки хвойных пород деревьев, лесосечные отходы, отходы гидролизных производств в виде лигнинов) при его карбонизации используют температуры до 750 °С, обеспечивая содержание золы в целевых продуктах до 10 % (9,3–11,7 % при переработке цело лигнитового сырья). В работах [108, 281, 384, 368–386] охарактеризовано получение перспективных углеродных сорбентов из ещё более близкого характеризуемым отходам вида растительного сырья – соломы и шелухи урожая сельскохозяйственных растений, включающее его пиролиз с интенсивностью подъёма температуры 5–7 °С/мин до 450–

500 °С и изотермическую выдержку в течение 30-60 мин, а затем активацию водяным паром при температурах более 820 °С.

В связи с изложенным охарактеризованную выше смесь воздушно сухих фрагментов БР подвергали пиролизу с отмеченной выше интенсивностью 10 °С/мин до 450-500 °С и последующей изотермической обработкой в течение от 1 до 4 ч. Материал, подвергнутый пиролизу, представляет собой совокупность частиц фракции <5 мм довольно низкой прочности, сохранивших форму исходных фрагментов со значительно сократившимися размерами, небольшого количества их обломков и порошковой фракции. Содержание в нем (в % по массе) углерода и золы составляет 79,65 и 2,40, соответственно, а имеющаяся пористость и адсорбционная способность по йоду (35,5 %) и метиленовому голубому (45 мг/г) позволяют считать его достаточно перспективным для очистки сточных вод, водоподготовки и решения ряда смежных задач.

Одна из последних обуславливает необходимость максимального сокращения содержания в нем зольных составляющих (при отношении С к О около 8:1 имеется значительное количество примесей щелочной и кислотной природы), не удовлетворяющего, в частности, даже требованиям к зольности технического углерода для производства резины (0,15–0,50 % масс.) [400].

Сокращение содержания минеральных включений в продуктах обогащения ископаемых углей и золы в углеродных адсорбентах наиболее часто обеспечивают их обработкой разбавленными минеральными кислотами и щелочами (для бурых углей наряду с ними используют окислители [401, 402] с последующей отмывкой водой и сушкой, достигая зольности получаемых активных углей в 1,9 % [110].

Удаление зольных компонентов из продукта пиролиза смеси фрагментов БР, измельчённых с целью интенсификации соответствующих процессов в порошок с размером частиц < 0,25 мм, посредством трёхкратной обработки (выщелачивания) 9 %-ным раствором HF с последующей многократной отмывкой дистиллированной водой (путём настаивания с периодическим взбалтыванием в обеих операциях) привела (согласно определениям, выполненным ЦКП) к увеличению содержания на их поверхности О, Си Р, сопряжённому с неоднозначным изменением концентраций

металлов(содержание одних несколько уменьшилось, других даже увеличилось) при существенном(на 12%)сокращении содержания углерода и появлении отдельных примесей (Si, N, металлов), не обнаруженных на поверхности сырья, как это иллюстрируют данные таблицы 29.

Таблица 29 - Элементы, фиксированные рентген флюоресцентным анализом на поверхности целевого продукта пиролиза при 450 °С смеси фрагментов БР, до и после обработки HF

Продукт	Состав поверхности, % масс.												
	C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Zn	Cl	P	S	N
Полученный	79,65	10,9	0,29	0,38	-	1,11	1,26	1,80	1,97	2,13	0,42	0,09	-
ОтмытыйHF	67,70	11,5	0,56	0,13	0,34	2,30	2,62	1,73	3,02	9,20	0,63	-	0,27

Гипотетическое объяснение отмеченных проявлений очевидно связано с физико-химическими процессами многоступенчатых операций названных промывки и отмывки мелкодисперсного материала, сопровождающимися потерей микроскопических обогащённых углеродом частиц (образование так называемой серой воды), а наличие в обоих материалах, характеризуемых данными таблицы 29, не обнаруженных в сырье металлов- с повышением их относительного содержания в процессе его пиролиза и накоплением в целевых продуктах выщелачивания и промывки мало- и нерастворимых фторидов кальция, магния и цинка. В этой связи эффективность использования HF, как деминерализую его реагента, ограничена.

Качество отмывки обрабатываемых образцов оценено также по показателям промывной воды – pH (pH-метр «pH-Tester PH-009 (II)») и электропроводности ж (кондуктометр «AquaProWatertesterHMDigital»), типичные зависимости которых от числа операций отмывки представлены на рисунке 29.

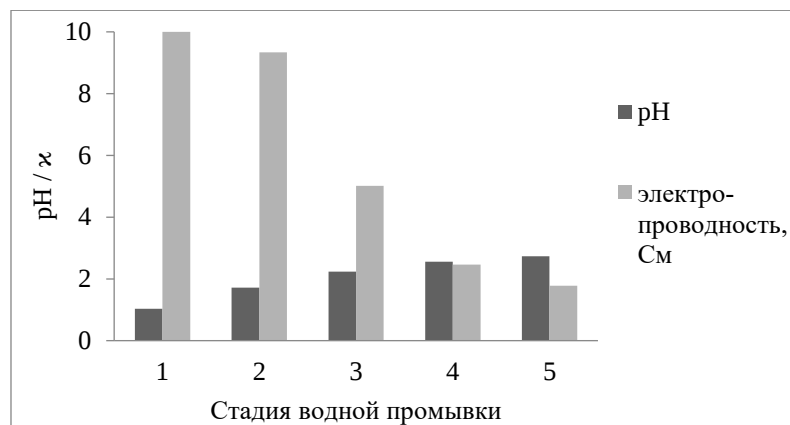


Рисунок 29 - Показатели содержания кислот и солей в промывной воде при отмывке продукта пиролиза смеси компонентов БР, обработанного HF

Из данных рисунка 27 следует, что даже пять последовательных операций отмывки не обеспечивают полного выщелачивания растворимых веществ из обрабатываемого материала, так как показатели pH и электропроводности не стабилизируются. Исходя из возможного присутствия в полученном карбонизате примесей, нерастворимых в HF (например, солей кальция и магния), он был дополнительно трёхкратно обработан 9 %-ным раствором соляной кислоты и горячей водой в аналогичных названным выше условиях с целью повышения растворимости примесей. Критерием окончания промывки служила стабилизация pH на уровне 3,0–3,5 и κ – 400–800 мСм (микро-Сименс), достигнутая при семи стадиях контакта с водой. Зольность полученного продукта составила 4,9 %масс.

С целью установления влияния увеличения температуры на долю углерода в целевом продукте указанных сырьё подвергли пиролизу при 500 °С с изотермической выдержкой в течение 4 ч, после чего остывший материал, как и таковой, полученный пиролизом при 450 °С, последовательно обработали названными растворами HF и HCl, отмывая горячей (50-55 °С) водой. Данные по элементному составу поверхности продуктов пиролиза при 450 и 500 °С, обработанных в данных условиях, сопоставлены в таблице 30.

Таблица 30 - Элементный состав поверхности карбонизированных продуктов, полученных пиролизом БР при 450 и 500 °С и отмытых кислотами и горячей водой

Продукт пиролиза при:	Состав, % масс.										
	С	О	Mg	Ca	Fe	Na	N	F	S	Cl	P
450 °С	72,30	2,85	0,07	-	-	-	4,96	0,58	0,24	-	-
500 °С	84,02	9,55	0,21	0,38	2,04	0,24	-	2,59	-	0,74	0,23

Сравнение данных таблиц 29 и 30 в целом указывает на повышение чистоты углеродного материала, как при увеличении температуры и длительности пиролиза сырья, так и при дополнительной отмывке полученных продуктов, сопровождаемое, однако, обнаружением в них азота и остатков кислот (Cl, F). Повышение же температуры пиролиза, эффективное с позиций более глубокой карбонизации сырья, приводит к получению отмытого продукта с более значительным массовым содержанием примесей в поверхностном слое.

Другие меры повышения чистоты целевых углеродных материалов в виде измельчения карбонизатов до частиц размером менее 0,25 мм и увеличения длительности их контакта с кислотами до суток с последующим использованием горячей промывной воды существенной значимости не обеспечили. Так, минимальная зольность карбонизатов, полученных при 450 °С и обработанных в этих условиях, составила 2,0 % масс. При этом показатели промывной воды достигли значений электропроводности $\kappa = 830$ мС/см, которая соответствует среднему уровню водопроводной воды, и $pH = 3.21$ (при допустимом интервале для питьевой воды 6–9) [281, 402, 403].

Увеличение длительности контакта с кислотами до суток с последующим использованием горячей промывной воды для продукта пиролиза при 450 °С привела к сокращению зольности до 2,0 %масс. При этом показатели промывной воды достигли значений $pH=3,21$ и электропроводности $\kappa = 0,83$ мС/см, что соответствует показателям высоко-жёсткой воды [281, 402, 403]. Обеспечение температуры пиролиза 500 °С при прочих равных условиях обработки и сходном качестве

промывной воды в итоге позволило получить карбонизированные продукты со средней зольностью 0,9 % масс и содержанием углерода 84 %, что, однако, также не соответствует отмеченным выше требованиям, но удовлетворяет потребностям технологий, в которых превалируют задачи использования углеродных материалов с минимальным содержанием золы. Таким образом, выполненными исследованиями подобран режим карбонизации сырья и реагентной отмывки её целевого продукта, обеспечивающий получение материала с минимальной в указанных условиях зольностью и максимальным содержанием углерода.

Продукты, полученные пиролизом сырья при 500 °С и последовательно отмытые растворами HCl, HF и горячей водой, как углеродные адсорбенты, имеют показатели, охарактеризованные в таблице 31.

Таблица 31 -Технические характеристики полученных материалов

Продукт пиролиза	Выход, %	d, г/см ³	V _Σ , см ³ /г	V _s , см ³ /г			Поглощение	
				H ₂ O	C ₆ H ₆	CCl ₄	I, %	МГ, мг/г
Карбонизированный	49,0	0,51	1,31	0,17	0,41	0,35	35,5	45
Отмытый	24,0	0,40	2,60	0,08	0,47	0,39	7,6	0

Представленные в таблице 31 данные позволяют отметить два значимых обстоятельства. Во-первых, резкое уменьшение массы отмытого продукта по причине указанных выше потерь (только на стадиях водной отмывки даже при разделении фаз центрифугированием с частотой вращения 1350–1500 мин⁻¹ в течение 5 мин общие потери достигают около 25 %). Во-вторых, существенное сокращение полярных свойств его поверхности, на что косвенно указывает более чем двойное снижение объёма сорбирующих пор по парам воды, обусловленное общей деградацией пористой структуры вследствие воздействия кислот, о чем свидетельствует и падение адсорбционной способности по тестовым веществам.

Сопоставление ряда характеристик полученных карбонизированных продуктов с таковыми близких по природе сырьевой основы активных углей БАУ (марок БАУ-А, БАУ-Ац, БАУ-МФ), для которых согласно [124] показатели V_Σ и V_{sC₆H₆} составляют

1,65–1,80 и 0,30–0,35 см³/г, соответственно, и активных углей на базе названных выше растительных отходов возделывания сельскохозяйственных культур [398, 399], те же показатели которых находятся в пределах соответственно 2,44–4,14 и 0,12–0,73 см³/г, позволяет заключить, что для полученных карбонизированных материалов величины V_{Σ} существенно уступают сопоставляемым, что сопряжено с их высокой насыпной плотностью по сравнению с данными адсорбентами ($d = 0,09\text{--}0,14$ г/см³), тогда как таковые $V_{\text{сC}_6\text{H}_6}$ превосходят сопоставляемые для углей БАУ или в целом соответствуют осреднённому уровню (0,49 см³/г) активных углей на основе соломы/стеблей пшеницы, рапса, ржи, рыжика, сои и топинамбура [398, 399]. При этом показатели V_{Σ} полученных продуктов пиролиза БР, в целом несколько уступающие таковым коммерческих активных углей БАУ, могут быть развиты путём активирования.

Основываясь на полученных данных, а также выводах работ [403–406], гипотетически можно рекомендовать охарактеризованные продукты пиролиза БР для использования в очистке сточных вод и водоподготовке, а также в решении задач ликёро-водочного производства, детоксикации почв и обеспечении ряда иных целей.

Определённая дополнительная информация по охарактеризованным исследованиям приведена в работах [406, 407].

Реэюмируя информацию разделов 3.1 и 3.2, следует отметить обоснованные данными приложения П 4 характер влияния при пиролизе сырья интенсивности нагревания, предельной температуры и длительности изотермической выдержки на выход и структурно-адсорбционные показатели полученных карбонизатов наряду с рациональными условиями реализации соответствующих процессов.

3.3. Результаты выявления рациональных условий активации водяным паром карбонизированных остатков пиролиза отходов, выхода продуктов, структурно-адсорбционных свойств и технических показателей активных углей

С целью установления рациональных условий активации водяным паром целевых продуктов пиролиза отходов с привлечением данных термографических

испытаний последних, подробно обсужденных в работах [47 54,58, 62, 276, 294, 324], и литературной информации [110, 121, 349, 351, 407, 408, 409] выполнены исследования, аналогичные таковым, проведенным с сырьём при его пиролизе. Итоговые сведения проведенных термогравиметрических испытаний карбонизатов сопоставлены в таблице 16, по форме идентичной таблице 32 (для карбонизатов КПТ и БР подобные испытания не проведены).

Таблица 32 - Сравнительные данные термогравиметрии карбонизатов в атмосферах баллонного азота и воздуха (в) при кратных 100 °С температурах (интенсивность нагревания ~9 °С/мин)

Сырье		Степень деструкции (%) при температуре, °С								
вид	навеска, мг	100	200	300	400	500	600	700	800	~900
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СКО	534,6	4,9	8,99	9,00	12,73	16,40	18,99	23,48	27,98	31,98
СКО в	599,3	5,0	9,9	10,00	13,45	16,99	23,99	30,00	40,00	50,00
РШ	135,8	7,50	7,50	7,51	8,50	12,60	22,50	30,00	37,00	41,00
РШ в	232,4	7,50	8,20	10,00	15,10	35,00	60,00	73,50	90,00	+2,20
ЖД	456,0	22,00	23,50	25,00	28,60	35,00	43,50	50,08	55,00	62,45
ЖД в	476,0	27,00	28,50	34,50	37,00	46,00	58,00	68,00	75,00	78,00
ОСМ	368,2	22,3	23,10	24,00	26,50	30,05	34,50	39,51	44,60	50,20
ОСМ в	389,9	25,00	25,00	25,50	31,00	37,00	41,00	46,50	52,00	63,50
СКС	372,7	13,50	15,00	16,50	18,50	31,00	55,00	69,00	84,00	85,00
СКС в	324,8	28,50	32,00	33,00	38,50	52,00	64,00	74,00	80,00	89,00
ГП	278,9	2,00	4,00	6,50	16,50	28,50	36,50	50,00	66,50	75,00
ГП в	308,5	25,00	26,00	27,30	32,00	36,5	42,50	52,50	65,00	89,00

Более наглядное представление о характере изменения с температурой величин степеней деструкции карбонизатов обеспечивает их графическая интерпретация на рисунке 28.

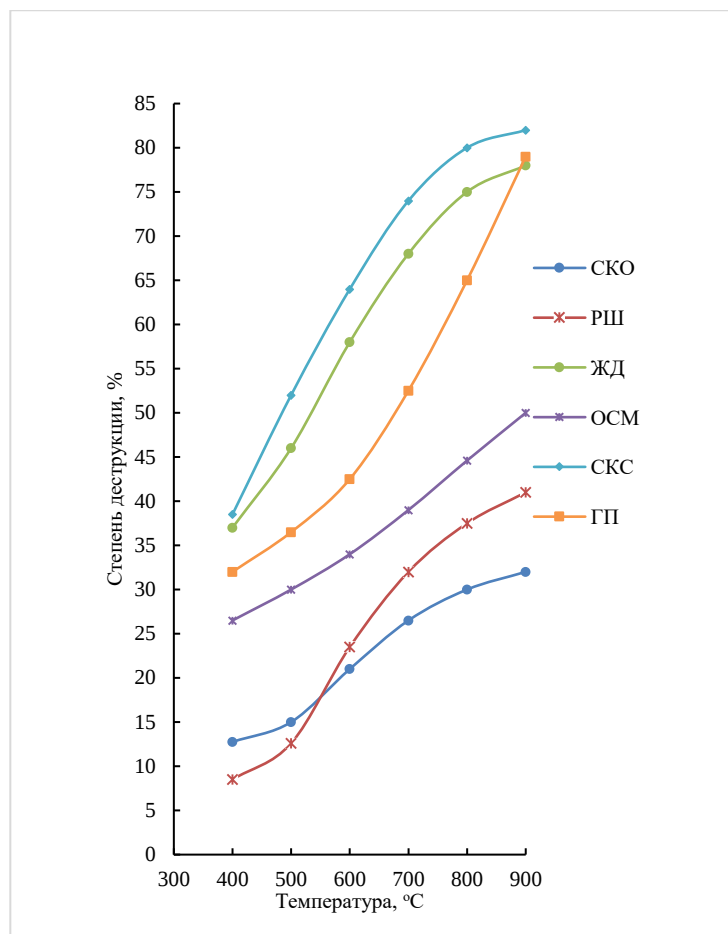


Рисунок 30 - Характер термической деструкции (потери массы) воздушно-сухих порошков карбонизатов при их нагревании в идентичных условиях в атмосфере азота

Сопоставление зависимостей, характеризуемых таблицей 32 и рисунком 30 (пиролиз карбонизатов), с аналогичными таблицы 16 и рисунка 21 (пиролиз сырья) позволяет отметить ряд различий в их форме. Так, выпуклая зависимость степени деструкции от температуры при пиролизе ОСМ при пиролизе его карбонизата является вогнутой, Г-образная для СКС представляет пологую, выгнутая для ГП осталась таковой, но более равномерной, пологая для РШ имеет близкую к S-образной форму, как и таковая для СКО, для ЖД форма осталась прежней. Величины деструкции карбонизатов при 900 °C образуют ряд СКС>ГП=ЖД>ОСМ>РШ>СКО.

Данные таблицы 32 дублированные рисунком 28 (пиролиз карбонизатов), свидетельствуют, что по характеру зависимостей степени деструкции охарактеризованных карбонизатов от температуры их пиролитической обработки в

рассматриваемой области им свойственны, как минимум, два характерных участка – 400-600 и 600-900 °С, демонстрирующие различную интенсивность процесса. При 400 °С термическую стойкость карбонизатов отходов отражает ряд РШ>СКО>ОСМ>ГП>ЖД>СКС, а при 600 °С весьма ему близкий - СКО>РШ>ОСМ>ГП>СКС>ЖД.

Как и при обработке данных термографических исследований сырья в атмосфере азота (см. таблицу 16. К анализу результатов термогравиметрических испытаний образцов отходов по П. 1), в работе проведены аналогичные оценки для пиролиза карбонизатов. Их результаты сведены в таблицу 33

Таблица 33 – К анализу результатов термогравиметрических испытаний карбонизатов отходов по данным таблицы 20.

Отход	Навеска, мг	Характер потери массы на температурном участке:							
		400–600°С				600–900 °С			
		% распада	масса, мг	время, мин	скорость, мг/мин	% распада	масса, мг	время, мин	скорость, мг/мин.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СКО	345,5	61,74	132,19	44,4	-	75,20	85,68	66,67	-
		13,46	46,50	22,22	2,09	11,04	38,14	33,33	1,14
РШ	536,4	53,88	247,38	44,4	-	70,19	375,24	66,67	-
		16,31	87,49	22,22	3,94	12,01	64,42	33,33	1,93
ЖД	354,4	58,69	142,68	44,4	-	72,23	255,98	66,67	-
		13,54	47,98	22,22	2,16	11,29	40,01	33,33	1,20
ОСМ	458,8	68,98	142,32	44,4	-	85,10	68,36	66,67	-
		16,72	73,95	22,22	3,33	13,10	60,10	33,33	1,80
СКС	574,1	48,78	294,05	44,4	-	74,91	144,04	66,67	-
		26,13	150,01	22,22	6,75	5,23	30,02	33,33	0,9
ГП	188,6	72,34	52,17	44,4	-	76,60	41,15	66,67	-
		4,26	8,04	22,22	0,40	20,21	38,12	33,33	1,14
КПТ	998,7	41,52	414,56	44,4	-	70,92	252,17	66,67	-
		29,4	293,62	22,22	13,21	3,83	382,50	33,33	11,47
БР	1000,0	84,35	156,50	44,4	-	92,30	40,00	69,4	-
		7,95	79,50	22,22	3,58	3,70	32,60	33,33	0,98

Данные таблицы 33 (последней) свидетельствуют, что по средней величине интенсивности термической деструкции в интервале 400-600 °С карбонизаты отходов формируют убывающую последовательность вида КПТ>БР>СКС>РШ>ОСМ>ЖД>СКО>ГП, а для интервала 600-900 °С существенно отличную от нее - КПТ>РШ>ОСМ>ЖД> СКО=ГП>БР>СКС. При этом обе последовательности не совпадают ни с одной из приведенных выше.

3.3.1. К обоснованию рациональных условий активации водяным паром целевых продуктов пиролиза отходов

Из первичной экспериментальной информации приложения П 2, охарактеризованных выше сведений и указанных ниже литературных данных следует, что активацию водяным паром карбонизатов всех отходов, исключая отходы БР, целесообразно исследовать в области температур 600-900 °С.

Области варьирования управляющих паровой активацией факторов - интенсивности нагревания (i), предельной температуры (t), длительности изотермической выдержки (τ) и удельного расхода водяного пара (v) наряду с их рациональными значениями, определяющими результативность процессов активации науглероженных продуктов пиролиза отходов детально освещены в публикациях [47, 54, 62, 76, 81, 158, 273, 278, 284, 290, 291, 312, 313, 343-326, 349, 351, 406, 407, 410-413] и охарактеризованы в таблице 34.

Таблица 34 - Условия активации карбонизированных остатков пиролиза отходов водяным паром

Тип отхода	Область варьирования				Рациональные величины			
	i , °С/мин	t , °С	τ , мин	v^* , г/г	i , °С/мин	t , °С	τ , мин	v , г/г
ГП	5 и 10	750 - 900	30 - 60	10 - 20	10	800	45	15
ЖД	5 - 20	800 - 850	15 - 120	3 - 30	10	850	60	5
КПТ	5 - 20	700-900	0 - 60	3, 5, 7	5	750	0	5
ОСМ	10, 15, 20	750 - 900	15 - 120	5 - 15	15	800	90	5
РШ	5 - 20	600 - 800	15 - 150	3 - 10	15	750	30	7
СКО	10, 15, 20	800, 850, 900	30, 60	3, 5, 7	15	850	60	3
СКС	5 - 20	750 - 900	0 - 60	5 - 20	15	850	60	15
БР	10	450	0	3	10	450	0	3

v^* – удельный расход водяного пара, выраженный в г на 1 г полученных активных углей

Информация таблицы 34 указывает на сравнительную близость, за исключением продукта пиролиза БР, уровней термического воздействия (750-850 °С) на полученные продукты пиролиза при их активации водяным паром и существенные различия в удельных расходах последнего, а также в интенсивностях нагрева и длительностях изотермической выдержки целевых продуктов при предельных температурах. Она же свидетельствует о необходимости наиболее жёсткого термического воздействия на карбонизированные остатки пиролиза косточкового сырья (СКО, СКС) и древесины ЖД. В процессах исследований отмечено, что превышение указанных уровней температуры обуславливает сильный обгар фрагментов целевых продуктов вплоть до их полного озеленя.

3.3.2. Выход и технические характеристики активных углей

Согласно результатам исследований, выполненных автором при указанных в таблице 34 рациональных значениях управляющих параметров и детально освещённых в работах [140, 255, 256, 265, 274, 276, 282, 290, 291, 293, 294, 297, 302, 341, 343, 344, 346, 347, 349, 365, 406, 411-413], установлено, что приготовленные активные угли характеризуют в таблице 35 показатели выхода и структурно-адсорбционных свойств (нижняя строка), сопоставленные с таковыми же целевых продуктов пиролиза сырья (верхняя строка).

Таблица 35 - Значения структурно-адсорбционных показателей и выхода целевых продуктов пиролиза сырья и активации водяным паром его карбонизированных остатков

Сырье	Показатель, его размерность и значение						
	V_{Σ} , см ³ /г	$V_{\text{H}_2\text{O}}$, см ³ /г	V_{CCl_4} , см ³ /г	$V_{\text{C}_6\text{H}_6}$, см ³ /г	I, мг/г	МГ, мг/г	Выход*, %
СКО	0,16	0,15	0,03	0,16	403	5,3	25,3
	0,38	0,36	0,14	0,31	620	280,7	60,5/15,3
РШ	0,13	0,12	0,08	0,11	710	307,0	42,4
	0,17	0,13	0,08	0,13	772	531,0	91,2/38,7
ЖД	0,72	0,14	0,64	0,16	416	1,8	29,0
	1,57	0,18	0,67	0,78	981	198,0	41,4/12,0
ОСМ	0,87	0,13	0,05	0,17	294	3,6	24,8
	1,25	0,16	0,31	0,31	1058	109,0	50,2/12,4
СКС	0,62	0,10	0,10	0,14	770	4,4	31,8
	0,74	0,20	0,26	0,26	1003	300,0	22,0/17,0
ГП	1,38	0,13	0,03	0,13	70	8,4	26,1
	1,79	0,23	0,26	0,26	343	204,0	75,0/19,6
КПТ	0,70	0,23	0,08	0,04	445	320,0	46,0
	1,10	0,28	0,24	0,26	558	340,7	46,0/21,2
БР	1,13	0,17	0,35	0,38	325	245,0	49,0
	0,58	0,19	0,09	0,12	281	196,0	45,0/18,4

* выход активного угля указан по отношению к карбонизату (числитель) и сырью (знаменатель)

Анализ информации, приведенной в таблице 35, свидетельствует, что определенные значения параметров полученных активных углей образуют убывающие последовательности следующих видов: для V_{Σ} - ГП>ЖД>ОСМ>КПТ>СКС>БР>СКО>РШ, для $V_{\text{H}_2\text{O}}$ - СКО>КПТ>ГП>СКС>БР>ЖД>ОСМ>РШ, для V_{CCl_4} - ЖД>ОСМ>СКС>ГП>КПТ>СКО>БР>РШ, для $V_{\text{C}_6\text{H}_6}$ - ЖД>СКО=ОСМ>

СКС=ГП=КПТ>РШ>БР, для МГ - РШ>КПТ>СКС>СКО>ГП>БР, для I - ОСМ>СКС>ЖД>РШ>СКО>КПТ>ГП>БР, для выхода к карбонизату - РШ>ГП>СКО>ОСМ>КПТ>БР>ЖД>СКС. Выход активного угля к сырью выражает последовательность РШ>КПТ>ГП>БР>СКО>ОСМ>ЖД>СКС.

Сопоставление данных таблицы 35 приводит к заключению, что активация водяным паром полученных пиролизатов обеспечивает, судя по величинам поглощения йода, располагающимся в убывающей последовательности ОСМ>СКС>ЖД>РШ>СКО>КПТ>ГП>БР, существенное развитие микро пористости большинства целевых продуктов пиролиза (СКО, ЖД, ОСМ, СКС, ГП, КПТ и БР). В случае же РШ оно сравнительного незначительно, сопровождаясь некоторым сокращением показателя V_{Σ} , сопряжённым с определённым увеличением значений $V_{\text{H}_2\text{O}}$ и $V_{\text{C}_6\text{H}_6}$. Наряду с этим убывающие значения показателя $V_{\text{H}_2\text{O}}$ формируют иной ряд: СКО>КПТ>ГП>СКС>БР>ЖД>ОСМ>РШ. Переходная пористость полученных активных углей весьма существенно превосходит таковую целевых продуктов пиролиза сырья, причём минимально данное превосходство также для активата РШ. Величины выхода к сырью активатов образуют последовательность вида РШ>КПТ>ГП>БР>СКО>ОСМ>ЖД>СКС.

С целью оценки качества полученных активных углей целесообразно приведённое ниже сопоставление ряда их практически значимых показателей с аналогичными показателями других адсорбентов, полученных на растительной, в частности древесной, основе. Таблица 36 представляет сведения о содержании элементов органической составляющей карбонизированных продуктов пиролиза сырья и полученных из них активных углей.

Таблица 36 - Показатели элементного состава органической компоненты пиролизатов отходов и продуктов их активирования водяным паром (числитель – карбонизат, знаменатель – активный уголь)

Обозначение отхода	Содержание, % масс.				
	С	О	Н	N	S
СКО	52,22/87,37	19,90/9,86	2,36/1,88	0,88 / 0,84	0,05 / 0,05
РШ	45,82/75,45	1,21/0,69	0,54/0,32	0,03/0,01	- / -
ЖД	77,99/87,22	17,85/11,31	3,56/1,28	0,56/0,15	0,04/0,04
ОСМ	78,10/90,37	19,30/7,79	2,80/1,13	- / -	- / -
СКС	85,37/94,30	10,20/2,82	3,99/2,35	0,44/0,53	- / -
ГП	50,20/84,66	4,98/0,05	8,39/3,96	2,08/1,16	2,47/2,37
КПТ	75,06/85,22	16,64/10,08	2,99/1,21	0,46/0,48	4,85/3,01
БР	58,96/73,96	19,65/12,76	8,85/4,54	5,32/2,88	6,98/5,54

Данные таблицы 36 указывают на существенное возрастание доли углерода в органической части активных углей по сравнению с таковой соответствующих карбонизатов. Исключение из этой закономерности представляют лишь показатели для целевых продуктов пиролиза и активации РШ, обусловленные высоким содержанием в ней соединений кремния. Обращает на себя внимание практическое отсутствие серы в продуктах обоих термических переделов. Информация о наличии минеральных элементов в полученных активных углях сопоставлена в таблице 36 с таковой для соответствующих карбонизированных материалов. Как следует из таблицы 36, по убывающим показателям содержания углерода, кислорода и водорода полученные активные угли формируют последовательности СКС>ОСМ>СКО>ЖД>КПТ>ГП>БР>РШ, БР>ЖД>КПТ>СКО>ОСМ>СКС>РШ>ГП и БР>ГП>СКС>СКО>ЖД>КПТ>ОСМ>РШ, соответственно.

Таблица 37 - Осреднённые величины содержания минеральных примесей на поверхности фрагментов не активированных (числитель) и активированных водяным паром (знаменатель) продуктов пиролиза отходов

Обозначение отхода	Элемент и его содержание в % масс.						
	Si	Na	Mg	K	Ca	Mn	
СКО	0,46/-	0,10/-	0,07/0,04	-	-	-	
РШ	22,57/19,58	-/-	-/-	0,62/0,50	0,08/0,09	-/0,16	
ЖД	- /0,08	0,11/0,21	0,02/0,09	- /0,12	0,26/1,12	-/-	
ОСМ	- /0,49	- /0,18	0,19/0,24	0,37/0,51	0,67/1,00	-/-	
СКС	-/-	-/-	-/-	0,25/0,28	1,14/0,26	-/-	
ГП	-/-	0,11/0,26	0,04/ -	8,48/1,95	1,56/0,21	-/-	
КПТ	-/-	- /0,31	- /0,20	0,43/3,18	1,89/2,30	-/-	
БР	-/-	-/-	0,29/ -	1,11/ -	1,26/ -	-/-	
Обозначение отхода	Элемент и его содержание в % масс.						
	Cl	Al	Zn	Zr	P	Fe	S
СКО	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
РШ	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
ЖД	- /0,12	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
ОСМ	1,40/0,37	0,23/0,21	0,76/ -	0,58/ -	-/-	-/-	-/-
СКС	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
ГП	0,06/0,17	-/-	-/-	-/-	1,31/0,19	-/-	-/-
КПТ	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,42/ -
БР	2,13/ -	0,38/ -	-/-	1,97/ -	0,42/ -	1,80/ -	0,09/ -

Примечание: знак (-) означает, что элемент не обнаружен

Информация о наличии минеральных элементов в полученных активных углях сопоставлена в таблице 37 с таковой для соответствующих карбонизированных материалов.

Данные таблицы 37 указывают на отсутствие каких-либо чётких закономерностей (как вещественных, так и количественных) между наличием и изменением содержания примесей неорганической природы при переходе от карбонизатов к активатам рассматриваемых отходов, чёткие причины чего в работе оценить не удалось.

В таблице 38 сопоставлен ряд технологически значимых показателей целевых продуктов активации науглероженных остатков пиролиза использованных отходов водяным паром с таковыми соответствующих продуктов пиролиза.

Таблица 38 - Физические показатели карбонизатов пиролиза отходов (числитель) и продуктов их активации водяным паром (знаменатель)

Сырье	Размеры (мм) и форма фрагментов продуктов:		d, кг/дм ³	A, %	W, %	П, %
	пиролиза	активации				
СКО	(30-85)х (1,5-10)	3-7, разные формы	0,54/0,25	4,71	8,00/3,50	98,00/97,50
РШ	2-4 для ширины чешуек длиной 7-9	2-4 для ширины чешуек длиной 7-9	0,11/0,08	48,50/64,53	6,06/6,35	44,75/28,07
ЖД	≤20	2,5-5,0	0,21/0,17	1,62/5,05	5,91/1,44	98/60
ОСМ	5-8	3-5	0,12/0,11	8,52/8,74	3,47/2,05	97,07/66,80
СКС	3-5	3-5	0,30/0,24	2,67/3,50	1,90/1,71	98,03/90,00
ГП	7-12	7-10	0,19/0,13	2,56/6,14	11,83/2,98	86,23/53,33
КПТ	10-15	7-10	0,14/0,11	10,40/16,00	3,02/1,71	83,00/76,00
БР	<25 и <0,25	<16 и <0,15	0,51/0,22	2,4/2,6	5,88/1,33	2,40/0,45

Согласно сведений таблицы 38, по сокращающимся величинам показателя d активные угли располагаются в ряд СКО>СКС>БР>ЖД>ГП>ОСМ=КПТ>РШ, показателя А - РШ>КПТ>ОСМ>ГП>ЖД>СКО>СКС>БР, показателя W - РШ>СКО>ГП>ОСМ>СКС=КПТ>ЖД>БР, показателя П - СКО>СКС>КПТ>ОСМ>ЖД>ГП>РШ>БР.

Сопоставление данных таблиц 38, 23 и 11 свидетельствует о разнозначимом сокращении прочности при истирании (П) фрагментов использованного сырья при их трансформации в карбонизированные материалы и в активные угли. Наиболее

значимо такое сокращение для целевых продуктов охарактеризованной термической переработки БР, РШ, ЖД и ОСМ. Шесть из восьми карбонизированных продуктов принадлежат к высокопрочным углеродным адсорбентам ($\Pi = 86,2\text{--}98,5\%$). Среди полученных из отходов активных углей наиболее прочны таковые на основе СКО, КПТ и СКС. Эти же данные указывают, что величины гравиметрической (насыпной) плотности (d , г/см³) исследуемых материалов в различной степени падают в последовательности сырье-карбонизат-активат.

Фотографии фрагментов активных углей, полученных в рациональных условиях активации карбонизатов водяным паром, представлены на рисунке 31.

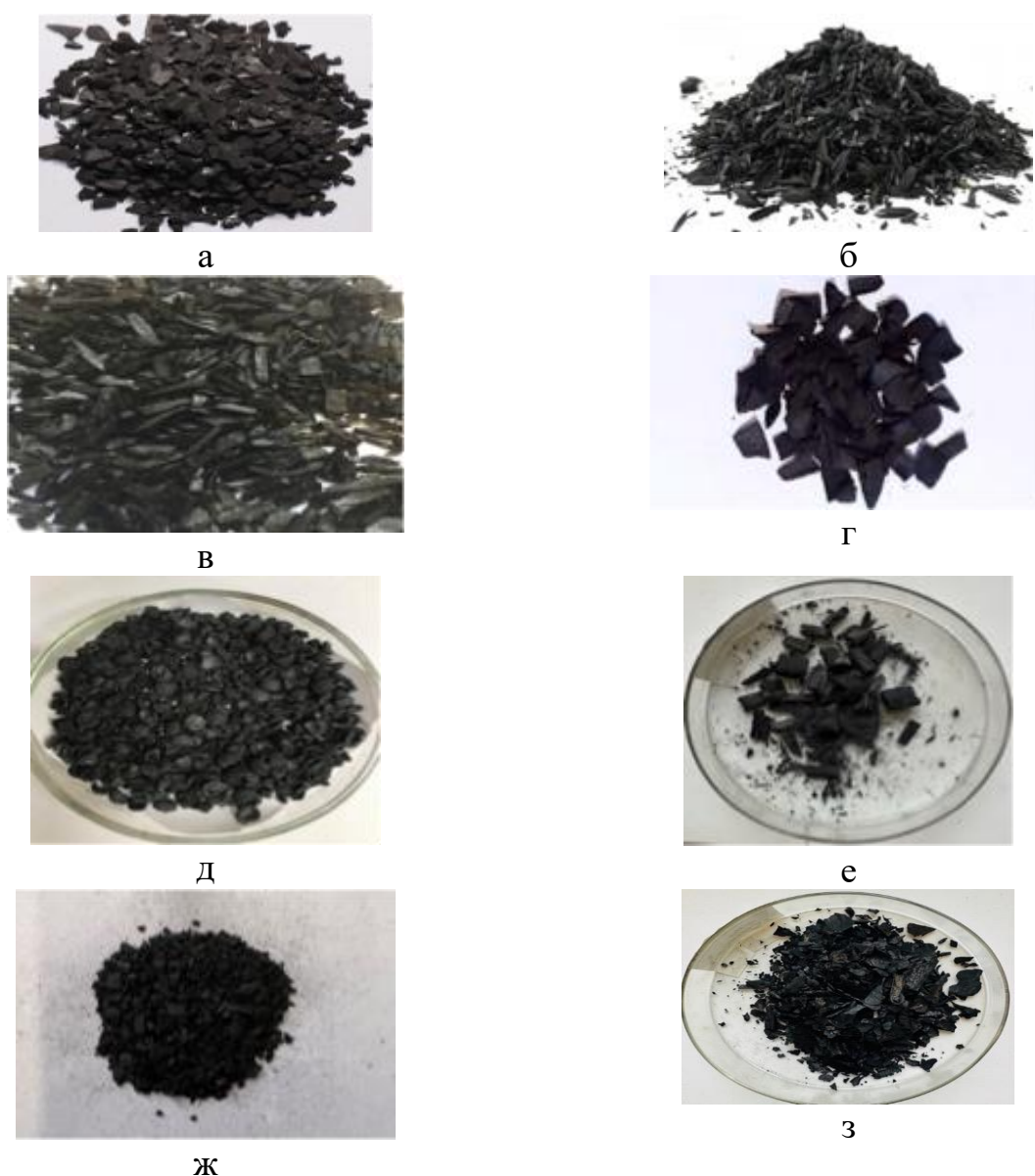


Рисунок 31- Массивы фрагментов активных углей на основе: а – СКО, б – РШ, в – ЖД, г – ОСМ, д – СКС, е – ГП, ж – КПТ, з – БР

Из данных рисунка 31 очевидно, что для полученных активных углей (за исключением угля на основе КПТ) большинство фрагментов в той или иной степени обладает металлическим блеском в отличие от таковых соответствующих продуктов пиролиза. Кроме активного угля БР, полученные активные угли отсутствуют деформацию после активации.

В таблице 39 охарактеризованы сведения о материальных балансах процессов активации водяным паром целевых продуктов пиролиза использованных отходов.

Таблица 39 - Материальные балансы стадий активации

Приход:	г	% масс.	Расход:	г	% масс.
Сырье: Карбонизат СКО Водяной пар	27,44 49,40	25,71 64,29	Продукты: Адсорбент Конденсат Неконденсирующиеся газы	16,46 33,40 26,866 ,00	21,45 43,53 35,02
Итого:	76,84	100	Итого:	76,72	100
Сырье: Карбонизат РШ Водяной пар	21,8 140,0	13,47 86,53	Продукты: Адсорбент Конденсат Неконденсирующиеся газы	20,95 132,0 8,85	12,95 81,58 5,47
Итого:	161,8	100	Итого:	161,8	100
Сырье: Карбонизатдревеси ны ЖД Водяной пар	14,0 28,0	28,6 71,4	Продукты: Адсорбент Конденсат Неконденсирующиесяга	5,60 25,96 10,44	13,33 61,81 24,86
Итого:	42,0	100	Итого:	42,0	100
Сырье: Карбонизат ОСМ Водяной пар	3,33 6,67	33,30 66,70	Продукты: Адсорбент Конденсат Неконденсирующиеся г	1,33 2,35 6,32	13,30 23,50 63,20
Итого:	10,00	100	Итого:	10,,00	100

Продолжение таблицы 39					
Приход:	г	% масс.	Расход:	г	% масс.
Сырье:			Продукты:		
Карбонизат СКС	40	8,16	Адсорбент	30	6,12
Водяной пар	450	91,84	Конденсат	425	86,73
			Неконденсирующиеся га	35	7,15
Итого:	490	100	Итого:	490	100
Сырье:			Продукты:		
Карбонизат ГП	14,50	18,42	Адсорбент	10,87	6,12
Водяной пар	163,05	81,58	Конденсат	90,05	50,72
			Неконденсирующиеся га	76,63	43,16
Итого:	177,55	100	Итого:	177,55	100
Сырье:			Продукты:		
Карбонизат КПТ	10	25	Адсорбент	4,7	11,75
Водяной пар	30	75	Конденсат	30,0	75,99
			Неконденсирующиеся га	5,3	13,25
Итого:	40	100	Итого:	40	100
Сырье:			Продукты:		
Карбонизат БР	10	25	Адсорбент	5,2	13,99
Водяной пар	30	75	Конденсат	20,85	52,125
			Неконденсирующиеся га	13,95	34,875
Итого:	40	100	Итого:	40	100

Из данных таблицы 39 следует очевидность технологической значимости вопросов обращения с побочными продуктами операций активации, масса которых находится в пределах ~83-94 % от суммы масс использованных в ней сырьевых материалов.

3.3.3. Показатели низкотемпературной адсорбции азота активными углями

Оценка пористой структуры полученных в работе активных углей с привлечением низкотемпературной адсорбции-десорбции азота выполнена аналогично охарактеризованной в разделе 3.1.3. на основе первичной информации, полученной ЦКП и представленной в приложении П-5. Ряд её результатов, частично

изложенных в работах [31, 54, 58, 77, 332, 333, 343, 361, 363, 365], охарактеризован в таблице 40.

Таблица 40 - Некоторые результаты оценки изотерм низкотемпературной адсорбции-десорбции азота образцами полученных активных углей

Активный уголь	Объем пор, см ³ /г			Е _о , кДж/моль	W ^s , см ³ /г (по С ₆ Н ₆)
	V _{ми}	V _{ме}	V _{ми+ме}		
СКО	0,33	0,05	0,38	26,48	0,32
РШ	0,12	0,05	0,17	27,50	0,09
ЖД	0,28	0,38	0,66	23,18	0,78
ОСМ	0,19	0,43	0,62	25,09	0,31
СКС	0,30	0,26	0,56	25,78	0,37
ГП	0,17	0,09	0,26	28,89	0,26
АУ КПТ	0,28	0,31	0,59	14,70	0,25
БР	0,22	0,28	0,50	12,64	0,41

Согласно величинам объёмов микро- (V_{ми}), мезо- (V_{ме}) и сорбирующих пор (V_{ми+ме}) в соответствии с данными таблицы 39 полученные активаты образуют следующие убывающие ряды: СКО>СКС>КПТ=ЖД>БР>ОСМ> ГП>РШ (различие в максимальном и минимальном значениях составляет 2,75), ОСМ>ЖД>КПТ>СКС>БР>ГП>СКО>РШ (названное различие 8,6) и ЖД>ОСМ>КПТ>СКС>СКО>БР>ГП>РШ (различие ~3,9), соответственно. Как очевидно, эти последовательности разнятся не только между собой, но и с подобными для карбонизированных продуктов пиролиза сырья, причём для последних все охарактеризованные последовательности завершают показатели для БР, тогда как для полученных активных углей - таковые для РШ. Для характеристической энергии адсорбции Е_о и предельного объема сорбционного пространства W^s подобные ряды выражают последовательности ГП>РШ>СКО>СКС>ОСМ>ЖД>КПТ>БР (различие 2,28) и ЖД>БР>СКС>СКО> ОСМ>ГП>КПТ>РШ (различие 7,56), соответственно,

также различающиеся с таковыми для охарактеризованных выше карбонизатов (см. таблицу 25).

Представленные в приложения П.5 изотермы низкотемпературной адсорбции азота), как и таковые для соответствующих карбонизатов, можно характеризовать по внешнему виду как близкие первому структурному типу в соответствии с теорией БЭТ [371, 400, 401], или принадлежащие к IV типу согласно классификации BDDT [371]. Характерный их признак - наличие петли гистерезиса (типа H4) в области относительных давлений выше 0,5, что сопряжено с капиллярной конденсацией в мезопорах [401]. При этом изотермам адсорбции-десорбции азота активными углями на основе СКО, РШ, ЖД, ОСМ, СКС и БР свойственно наличие замкнутых петель гистерезиса, свидетельствующее о блокировании кислотных центров карбонизатов продуктами термической деструкции при активации, тогда как для таковых активных углей на базе ГП и КПТ эти петли разомкнуты, что предположительно может быть обусловлено названными выше причинами [362-364]. Практически все изотермы активных углей располагаются существенно выше изотерм соответствующих карбонизированных материалов, за исключением таковых для активных углей, полученных из ГП, РШ и ОСМ, для которых это превышение является весьма скромным. При этом в случае БР, несмотря на существенный рост названного превышения, величины поглощения азота (в см³/г НТД) ничтожны в сравнении с таковыми других полученных углеродных адсорбентов.

Для активных углей на базе СКО, РШ, ЖД, ОСМ и СКС меняется по сравнению с соответствующими карбонизатами наклон изотерм и появляется замкнутость петли гистерезиса. В случае ГП практически сохраняются форма изотермы и незамкнутость петли гистерезиса. Для КПТ форма изотермы существенно меняется при сохранении незамкнутости гистерезисной петли, а у продукта активации БР сохраняются формы изотермы и петли гистерезиса, но последняя несколько смещается в сторону меньших значений p/p_0 .

Показатели, аналогичные приведённым в таблице 41, для полученных паровой активацией активных углей представлены, исходя из данных приложения П.5, в таблице 40.

Таблица 41 - Структурные показатели образцов полученных активных углей паровой активации

Активат	$S_{уд}, \text{ м}^2/\text{г}$		По Д/Р		По Д/А	
	Ленгмюр	БЭТ	$S_{уд.ми}, \text{ м}^2/\text{г}$	Ёмкость монослоя, $\text{см}^3/\text{г}$	$S_{уд.ми}, \text{ м}^2/\text{г}$	Предельный $V_{ми}, \text{ см}^3/\text{г}$
СКО	-	689,82	933,35	214,41	916,53	0,342
СКО	-	707,67	788,37	181,10	720,11	0,279
РШ	415,74	-	380,56	87,42	310,88	0,140
РШ	-	263,36	810,10	186,09	628,08	0,260
ЖД	-	737,19	800,20	183,80	801,30	0,310
ОСМ	-	577,00	626,00	143,80	640,00	0.236
СКС	-	785,92	846,67	194,49	827,21	0,313
ГП	480,61	-	463,50	106,47	463,57	0,167
КПТ	636,42	-	788,69	181.18	480,45	0,199
БР	-	42,90	52,05	11,96	44,42	0,025

Максимальные по данным таблицы 40 величины удельной поверхности $S_{уд}$ активных углей формируют последовательность СКС>ЖД>СКО>КПТ>ОСМ>ГП>РШ>БР. По максимальным значениям других параметров, охарактеризованных в таблице 40, их величины формируют следующие убывающие последовательности: по показателю $S_{удми}$ (Д/Р) - СКО>СКС>РШ>ЖД>КПТ>ОСМ>ГП>БР, по показателю емкости монослоя - ОСМ>ГП>СКС>СКО>ЖД>БР>РШ>КПТ, по показателю $S_{удми}$ (Д/А) - СКО>СКС>ЖД>ОСМ>РШ>КПТ>ГП>БР, по показателю предельного объема микропор - СКО>СКС>ЖД>РШ>ОСМ>КПТ>ГП>БР. Следует подчеркнуть, что все последовательности данного абзаца различны и не соответствуют таковым для полученных по данным таблицы 23, а также приведенным выше рядам показателей степеней термической деструкции.

По убывающим величинам объёмов микро- ($V_{ми}$), мезо- ($V_{ме}$) и сорбирующих пор ($V_{ми+ме}$) охарактеризованные в таблице 36 продукты образуют следующие

существенно различающиеся последовательности: СКО>СКС>РШ>ЖД>КПТ>ОСМ>ГП>БР (различие в максимальном и минимальном значениях составляет 3,2), ЖД>СКС>ОСМ>КПТ>СКО=РШ=ГП=БР (аналогичное различие достигает 5,5) и ЖД>СКС>СКО=ОСМ>КПТ>РШ>ГП>БР (различие ~3,6), соответственно. По значениям характеристической энергии адсорбции (E_0) подобную зависимость отражает ряд: ГП>СКО>ОСМ>РШ>СКС>ЖД>КПТ>БР (различие~2,5). Относительно W_s такой ряд составляет: СКС>ОСМ>СКО>ЖД>ГП=КПТ>РШ>БР (указанное различие равно 9).

Оценка распределения объёма пор активных углей по диаметрам и его сопоставление с таковым для продуктов пиролиза использованных отходов свидетельствуют о существенном развитии пористой структуры при переходе от карбонизата к активному углю равной природы и изменении её качественных и количественных параметров, наиболее детально описанном для СКО и РШ в работах [332, 333, 362-364]. Наряду с этим примерно линейно падающий в области 1,2-50 нм объем пор с ростом их диаметра для карбонизата ЖД приобретает характер, близкий параболическому, для активного угля на базе ЖД; аналогичная зависимость, слегка выпуклая к оси абсцисс для карбонизата ОСМ остаётся таковой и для соответствующего активного угля; эта функция, легко выгнутая к оси абсцисс для карбонизата СКС, меняется в случае активного угля на основе СКС на таковую, свойственную активному углю, полученному из ЖД; характеризуемые зависимости для карбонизата и активата ГП близки линейным; в случае карбонизата КПТ эта зависимость близка нисходящей ветви параболы, тогда как для активного угля на основе КПТ она является выпуклой и прогрессивно падающей; для карбонизата БР данная зависимость линейно падает, а для активного угля на этой же основе практически горизонтальна в интервале диаметров ~3,5-20 нм и затем прогрессивно резко падает с их большим увеличением.

3.3.4. Побочные продукты активации водяным паром полученных карбонизаторов

Побочными продуктами операций активации полученных продуктов пиролиза отходов являются жидкости, образующиеся при охлаждении до комнатной температуры горячих парогазов процесса, и неконденсирующиеся газы.

3.3.4.1. Конденсаты

Массовая доля конденсатов среди продуктов активации водяным паром карбонизированных остатков пиролиза использованных отходов, как следует из данных таблицы 34, весьма велика, находясь в пределах ~43-87 %. По ее величинам эти побочные продукты образуют нисходящую последовательность вида СКС>РШ>КПТ>ЖД>ОСМ>БР>ГП>СКО. Образующиеся конденсаты не обладают горючестью и имеют плотность весьма близкую 1 г/см³, за исключением сравнительно вязкого конденсата для КПТ, у которого она составляет около 1,5 г/см³. Ряд физических свойств этих продуктов характеризуют данные таблицы 42.

Таблица 42 - Физические показатели конденсатов процессов активации

Тип отхода	Величина рН	Показатель ООУ, мг/л	Цвет	Прозрачность	Запах
СКО	~6,5	~45	лёгкая желтизна	+	¬
РШ	~6,0	~ 55	лёгкая желтизна	+	¬
ЖД	~6,0	265	желтоватый	+	-
ОСМ	~3,0	~78	слабая желтизна	слабая мутность	¬
СКС	~6,5	~6	слабая желтизна	слабая мутность	¬
ГП	~6,0	~58	желтоватый	+	кислый
КПТ	~3,5	65	темнокоричневый	¬	нп
БР	~6,0	~35	желтоватый	+, темноватый	¬

Примечание: обозначения «¬» и «+» указывают на отсутствие и наличие соответствующего свойства; «нп» - неприятный

Охарактеризованная информация позволяет констатировать, что полученные конденсаты представляют собой воду, содержащую в основном небольшие количества органических примесей, что, по крайней мере, в случае СКО, РШ, СКС,

БР и, вероятно, ГП, обеспечивает возможность ее сброса на рельеф местности, использования на иные потребности и даже частичной компенсации свежей воды, потребляемой парогенератором, обеспечивающим нужды процесса активации в водяном паре. В других случаях (ЖД, ОСМ, КПТ) полученные конденсаты перед сбросом в объекты гидросферы подлежат нейтрализации и обезвреживанию различными приёмами.

3.3.4.2. Неконденсирующиеся газы

Доля среди продуктов активации неконденсирующихся газов в соответствии с данными таблицы 34 ниже таковой (и в ряде случаев весьма существенно) конденсатов одинакового происхождения, находясь в пределах ~5-43 % масс. Ее величины формируют следующий сокращающийся ряд: ГП>СКО>БР>ОСМ>ЖД>КПТ>СКС>РШ. Результаты хроматографической оценки их состава (с привлечением хроматографа «Цвет-500М»), иллюстрируемые в качестве примера данными рисунка 32 и таблицы 43, освещены в ряде работ [31, 54, 58, 76, 77].

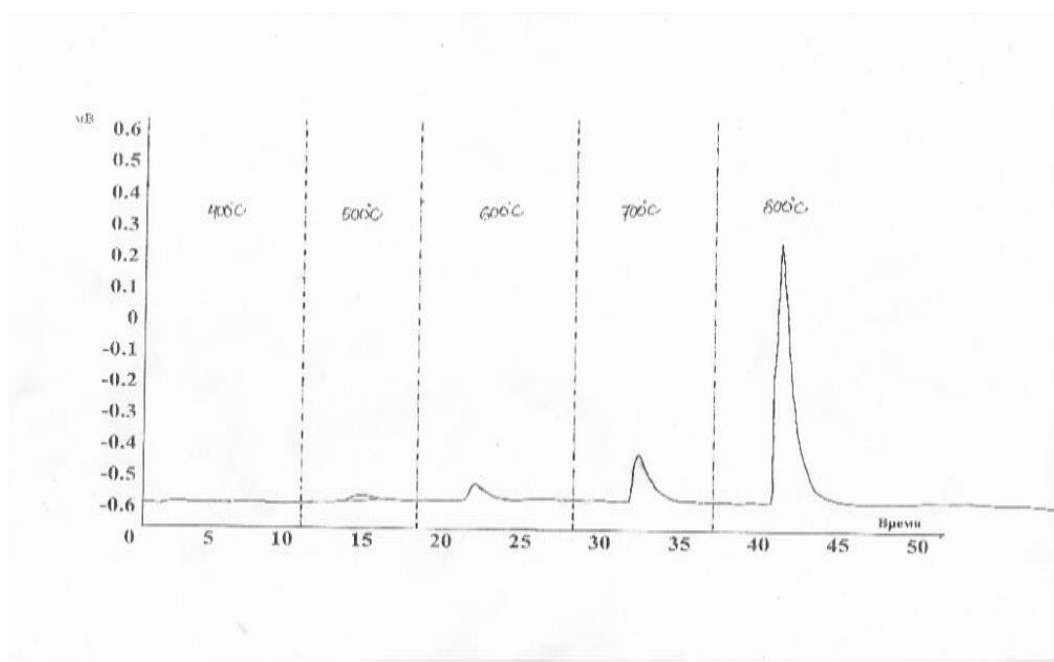


Рисунок 32 - Хроматограммы неконденсируемых газов активации карбонизата РШ

Таблица 43 - Характеристика принадлежности пиков хроматограмм рисунка 32 и объёмной доли компонентов в испытуемых пробах газов активации

Температура, °С	№ пика	Вещество	Высота пика, мВ	Объёмная доля, %
400	1	CH ₄	119,772	48
	2	CO ₂	185,285	62
500	1	CH ₄	121,621	49
	2	CO ₂	105,655	33
600	1	CH ₄	117,052	47
	2	CO ₂	32,267	5
700	1	CH ₄	90,846	39

Неконденсирующиеся газы операции активации водяным паром полученных карбонизатов не горят при поднесении к ним открытого пламени, хотя тоже содержат переменные во времени и номенклатуре водород и метан, но в значительно меньших количествах, чем газы пиролиза [31, 54, 58, 76, 77]. Согласно [95, 107] такие газы обезвреживают дожиганием и после утилизации тепла сбрасывают в атмосферу, хотя предложены и иные решения по обращению с газами активации в подобных технологиях [402, 403].

3.4. Выщелачивание в дистиллированной воде полученных углеродных адсорбентов

Контакт углеродных адсорбентов как с дистиллированной, так и водопроводной водой, а особенно с агрессивными (кислыми и щелочными) водными системами, содержащими взвешенные и растворенные загрязняющие вещества, обуславливает необходимость оценки весьма практически важных процессов вторичного загрязнения обрабатываемых сред данными адсорбентами и особенно таковыми, полученными из различных отходов. С целью ориентировочной оценки этой способности навески воздушно сухих образцов полученных углеродных адсорбентов, взятые в дозах 20 г/л, приводили в контакт с дистиллированной водой (рН 8,44) путём суточного настаивания с периодическим встряхиванием, после чего

фазы разделяли на фильтре Шотта и определяли величины сухих и прокалённых остатков сепарированных растворов. Условия и результаты таких определений представлены в таблице 44.

Таблица 44 - Показатели выщелачивания в воде карбонизированных продуктов пиролиза использованных отходов (числитель) и их активации водяным паром (знаменатель)

Основа углеродного адсорбента	Объем воды, см ³	рН водной вытяжки	Остаток в мг на 1 г адсорбента	
			сухой	прокалённый
СКО	150/100	8,82/9,81	35/19	18/12
РШ	200/200	8,81/9,27	45/20	35/10
ЖД	100/100	8,31/8,90	69/24	19/4
ОСМ	100/200	8,63/9,55	35/16	28/10
СКС	200/200	8,11/9,45	74/50	31/22
ГП	150/150	8,82/9,80	47/6	25/4
КПТ	100/200	8,85/9,68	13/5	6/0,8
БР	150/150	8,68/9,22	42/18	12/5

Данные таблицы 44 свидетельствуют, что полученные активные угли, за исключением таковых на основе СКС и, возможно, ЖД, с учётом обычно практикуемых доз их использования (до 5 г/л) при обработке жидкофазных сред и потоков, могут загрязнять дистиллированную воду продуктами их растворения при длительностях контакта фаз в пределах до 60 мин в количестве до 100 мг/г. При использовании же продуктов пиролиза изученных отходов, кроме карбонизата КПТ, такое загрязнение может существенно превышать названную величину.

Сведения, представленные в таблице 44, достаточно удовлетворительно соответствуют имеющейся литературной информации [404-407].

3.5. К оценке ионообменной способности активных углей паровой активации

Оценками статической ионообменной емкости полученных в работе углеродных адсорбентов, выполненными согласно [408, 409], выявлено практическое отсутствие или весьма слабое (на уровне точности анализа) проявление большинством полученных адсорбентов катионообменной способности (исключение составляет активный уголь на основе КПТ с величиной $COE_K=0,2$ ммоль-экв/г), что, однако, не свойственно подобным продуктам термической переработки многих видов РШ, охарактеризованных в доступных источниках научно-технической информации [410-413]. Величины анионообменной способности полученных активных углей паровой активации в соответствии с экспериментальными данными, представленными в табличном виде в приложении П.6, характеризует информация рисунка 33.

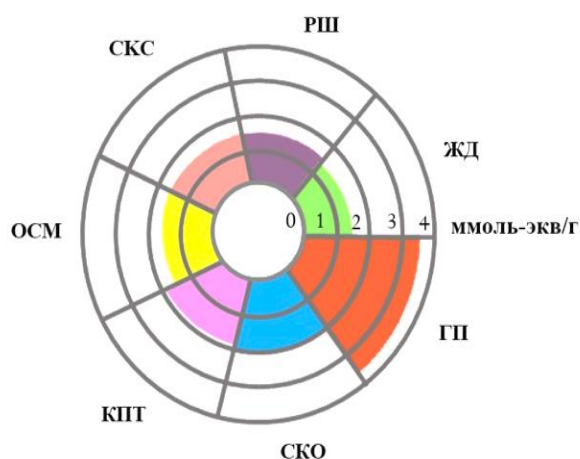


Рисунок 33 - К характеристике анионообменной способности активных углей паровой активации

Данные рисунка 33 указывают, что по величине COE_A активные угли паровой активации на базе использованных отходов образуют нисходящую последовательность $ГП > СКО > КПТ > СКС > ОСМ > РШ > ЖД$. В целом же полученные активные угли, как и обычные, обладают достаточно низкими ионообменными свойствами [414].

3.6. К обоснованию практического использования полученных активных углей в решении природоохранных задач

В таблице 45 ряд показателей активных углей паровой активации, полученных из использованных отходов, сопоставлен с аналогичными показателями активных углей на древесной основе (в том числе коммерческих) и на древесно-полимерной базе.

Таблица 45 - Некоторые показатели активных углей на растительной основе

Марка Бгля	Объем пор, см ³ /г			S _{уд} *, м ² /г	Поглощение, мг/г		А, %	П, %	Выход к сырью, %
	V _Σ	V _{микро} *	V _{мезо} *		I	МГ			
СКО	0,38	0,33	0,05	690	620	281	4,7	97,5	15,4
РШ	0,17	0,12	0,05	416	772	531	64,5	28,1	38,7
ЖД	1,57	0,28	0,38	737	981	198	5,1	60,0	12,0
ОСМ	1,25	0,19	0,43	577	1058	109	8,7	66,8	12,4
СКС	0,74	0,30	0,26	786	1003	300	3,5	90,0	7,0
ГП	1,79	0,17	0,09	481	343	204	6,1	53,3	19,6
КПТ	1,10	0,28	0,31	636	558	341	16,0	76,0	21,2
БР	0,58	0,22	0,15	43	281	196	2,6	0,5	18,4
БАУ-А**	1,71	0,24	0,09	400-500	600	-	6,0	60-75	-
ДАК***	1,40	-	-	-	30	-	6,0	-	-
ДПУ****	0,80	0,40	0,38	966-1047	-	-	13,0	65-70	14-17

Примечания: * - по данным низкотемпературной адсорбции азота; ** - данные заимствованы из [398], *** - по данным [115], **** - древесно-полимерный уголь, охарактеризованный в работе [399].

Информация таблицы 45 свидетельствует, что доля микропор в суммарной пористости сопоставленных образцов углей максимальна у адсорбента на базе РШ (70,59 %) и эти показатели формируют следующий убывающий ряд: РШ>СКО>БР>СКС>ДПУ>КПТ>ОСМ>ГП>БАУ-А>ЖД (19,11 %). Однако, углерод-минеральный адсорбент на базе РШ имеет наименее развитую удельную поверхность по сравнению с другими сопоставленными активными углями, за исключением таковой угля на основе БР, наиболее низкие объем микропор и суммарную

пористость, наиболее высокую зольность и наименьшую прочность при истирании, хотя и существенно превышающую таковую угля на базе БР. Исходя из этих показателей, углеродно-кремнезёмный адсорбент на основе РШ целесообразно полагать ограниченно пригодным для практического использования, как и малоприспособленный для этого активный уголь на базе БР, характеризующийся крайне низкими показателями удельной поверхности и прочности.

Доля мезопор в суммарном объёме пор наиболее велика у ОСМ (24,80 %) и сокращается в последовательности ОСМ>ЖД>ГП>КПТ>РШ>БАУ-А>ДПУ>БР>СКО>СКС (12,16 %). Показатель удельной поверхности наиболее значим для угля ДПУ (966–1047 м²/г) и формирует нисходящую последовательность вида ДПУ>СКС>ЖД>СКО>КПТ>ОСМ>БАУ-А>ГП>РШ>БР (43 м²/г). По величине зольности аналогичную последовательность возглавляет углерод-минеральный адсорбент на базе РШ (64,53 %): РШ>КПТ>ДПУ>ОСМ>ГП>БАУ-А>ЖД>СКО>СКС>БР (2,6 %). Значение выхода к сырью максимально для РШ (38,7 %) и образует убывающий ряд вида РШ>КПТ>ГП>БР>ДПУ>СКО>ОСМ>ЖД>СКС (7 %), причём данный показатель для БАУ-А в доступной литературе автором не обнаружен. Величина прочности при истирании в последовательности такого же вида максимальна для угля на базе СКО (97,5 %): СКО>СКС>КПТ>БАУ-А>ДПУ>ОСМ>ЖД>ГП>РШ>БР (0,45 %).

Активные угли, полученные из СКО, ЖД, ОСМ, СКС, ГП и КПТ, в соответствии с изложенными обстоятельствами и по совокупности сопоставленных показателей в гораздо большей степени соответствуют коммерческому углю на древесной основе российского производства марки БАУ-А. При этом только угли на основе СКО, СКС, ЖД и КПТ несколько уступают углю БАУ-А в доле микропор в суммарной пористости, но превосходят его наряду с углём на базе ОСМ по величине удельной поверхности. Прочность при истирании полученных адсорбентов значительно превышает таковую угля БАУ-А (угли СКО и СКС), находится на её уровне (угли КПТ, ОСМ и ЖД) и лишь для углей на основе ГП, РШ и БР существенно ей уступает.

Отходы в виде уплотнённого сырья различной формы и размеров с величинами насыпной плотности d для СКО 0,63, СКС 0,50, ЖД 0,30 и ОСМ 0,25 г/см³ (см. таблицу 11 приводят к получению зернёных активных углей с достаточно высокими показателями удельной поверхности ($S_{уд}$ 630-930 м²/г), как свидетельствуют данные таблиц 40, 44. При этом их представителям на базе СКО и СКС свойственны весьма высокая прочность при истирании (~93/90 % для СКО/СКС) и сравнительно низкая зольность (~4,7/3,5 % для СКО/СКС), а таковым на основе одревесневших отходов ЖД и ОСМ - более низкая (на уровне угля БАУ-А) прочность (~60-67 %) и несколько большая зольность (5-8,7 %). Содержание углерода в сырье, науглероженных продуктах его пиролиза (карбонизатах) и активных углях паровой активации этой серии возрастает в соответствии со следующими рядами: 44<78<90 для ОСМ, 48<78<87 для ЖД, 53<85<94 для СКС и 59<70<87 для СКО. Следует отметить, что высокая прочность сырья в виде ОСМ и ЖД, в отличие от СКО и СКС, не является фактором обеспечения получения на их основе углей повышенной прочности. Выход к сырью для угля СКС минимален (~7 %), составляя для углей СКО, ЖД и ОСМ ~12-15 %. Пористая структура угля на базе СКО представлена практически исключительно сорбирующими порами с преобладанием микропор. Более 75 % составляет объем сорбирующих пор и в суммарной пористости угля СКС. Для углей на основе ЖД и ОСМ удельные объёмы переходных пор существенно превышают таковые микропор при доле сорбирующих пор в суммарной пористости на уровне 42 (ЖД) и 46 % (ОСМ).

Отходы в виде иного использованного в работе растительного сырья также различной формы и размеров с величинами насыпной плотности d для РШ 0,11, ГП 0,30, КПТ 0,34 и БР 0,15 г/см³ (см. таблицу 11?) приводят к получению зернёных, за исключением БР, активных углей паровой активации с относительно высокими показателями удельной поверхности, также за исключением БР ($S_{уд}$ для РШ 416, ГП 481, КПТ 636 и БР 43 м²/г), как на это указывают данные таблиц 40, 44. Их представители на базе РШ/ГП/КПТ/БР имеют, как отмечено выше, пониженную прочность при истирании - 28/53/76/0,5 %, существенно уступающую таковой углей на основе уплотнённого сырья (за исключением угля на базе КПТ), и выход к сырью

- 39/20/21/18 %, соответственно, превышающий данный показатель углей из уплотнённого сырья особенно значимо в случаях РШ (по причине высокого содержания в сырье соединений кремния) и КПТ. Содержание углерода в сырье, карбонизатах и активных углях, полученных из сравнительно непрочных отходов этой серии, возрастает согласно следующими рядам: 25<35<50 для РШ, 47<50<85 для ГП, 54<75<85 для КПТ и 55<59<74 для БР. Пористая структура угля на базе РШ на 74 % представлена микропорами. Уголь на основе ГП имеет долю сорбирующих пор в общей пористости лишь несколько большую 14 %. У угля КПТ такая доля находится на уровне 54 %, а для угля на базе БР она близка 64 %.

Свидетельствующие о наличии микропор величины поглощения йода активными углями на базе БР (281 мг/г), ГП (343 мг/г) и сопоставляемого с ними коммерческого угля на древесной основе марки ДАК (30 мг/г) существенно ниже таковых для других углей, полученных в работе (558-1058 мг/г). Величины адсорбции МГ для последних, кроме ОСМ, находятся на уровне 200 мг/г (ЖД, ГП, БР) или существенно его превышают (СКО, РШ, СКС, КПТ).

Выявления чётких связей используемого сырья с интенсивностями нагревания, предельными температурами и длительностями его изотермической обработки (как и удельными расходами водяного пара) полученная информация для обоих переделов не позволяет, что, вероятно, обусловлено спецификой состава и строения, как сырья, так и карбонизированных продуктов его пиролиза.

Прослеженные зависимости хорошо согласуются с известными фактами трансформации растительного сырья при пиролизе и активации его науглероженных остатков водяным паром [70, 92, 94, 95, 107], но индивидуальны для каждого вида сырья, не позволяя констатации общих чётких количественных закономерностей, важнейшим препятствием чего является, по мнению автора, отсутствие в настоящее время надёжных средств визуальной фиксации структуры микропор адсорбентов.

Изложенные обстоятельства определяют целесообразность использования характеризующих адсорбентов паровой активации (за исключением таковых на основе ОСМ и БР) в решении широкого круга природоохранных задач, связанных, прежде всего, с очисткой и обезвреживанием от примесей (загрязняющих веществ)

органической природы в основном различных водных сред, объектов и потоков. Следует подчеркнуть, что углеродные адсорбенты, полученные в работе из использованных отходов Мьянмы в виде СКО, РШ, ЖД, СКС и ГП, по ряду технических показателей и структурно-адсорбционных свойств в должной степени не соответствуют лучшим мировым аналогам [400–403], что не исключает рациональности их практического использования (относительно ОСМ, КПТ и БР соответствующих сведений для сопоставления автором не обнаружено).

ГЛАВА 4. Сведения об эксплуатационных свойствах углеродных адсорбентов, полученных активацией водяным паром, иных возможностях получения углеродных адсорбентов из использованных отходов и некоторых аспектах организации производства активных углей на основе последних

Оценка сопоставительной эффективности применения в природоохранных и смежных технологиях углеродных адсорбентов, полученных пиролизом использованных растительных отходов и активацией его карбонизированных продуктов водяным паром, выполнена с привлечением образцов многокомпонентных сточных вод, модельных смесей с воздухом паров н-бутанола различной концентрации, систем на основе водопроводной воды и находящихся на ее поверхности плёнок дизельного топлива различной толщины, а также ряда других объектов.

4.1. Обработка жидких сред

Эффективность практического применения полученных углеродных адсорбентов в решении ряда природоохранных и смежных задач оценена в лабораторных условиях с использованием образцов реальных производственных поступлений в гидросферу сбросов жидких отходов и имитирующих ряд жидкофазных объектов моделей.

4.1.1. Очистка стоков АО «Москокс»

Способность к удалению из многокомпонентных производственных сточных вод загрязняющих их органических примесей оценена для активных углей, полученных из растительных отходов (СКО, РШ, ЖД, ОСМ, СКС, ГП и КПТ, активный уголь на основе БР с данной целью не исследован), на примерах обработки ими многокомпонентных стоков с территории коксохимического производства АО «Москокс». Степень очистки названных стоков при исследовании кинетики соответствующих процессов извлечения из них загрязняющих примесей органической природы контролировали показателем общего органического углерода – ООУ (ТОС – Total organic carbon) [419, 420], являющимся согласно, 422]

единственным документированным нормативно-техническим в РФ, связанным с контролем содержания ООУ. В соответствии с ним предельное содержание ООУ в воде высшей категории составляет 5 мг/л, в воде первой категории - 10 мг/л. Для воды централизованного водоснабжения уровень ООУ не регламентирован, как и для воды водостоков.

Наряду с этим эффективными в очистке сточных вод полагают активные угли, обеспечивающие сокращение содержания в них ООУ до уровня 30 мг/л [423], способствующее решению задачи удаления органических загрязняющих веществ до кондиций воды водоёмов рыбохозяйственного назначения.

На рисунке 34 по данным первичной экспериментальной информации, приведённым в приложении П.7, представлены результаты исследований при 20 °С кинетики данного процесса применительно к дозе близких по размеру фракций полученных активных углей, составляющей 0,3 г/л.

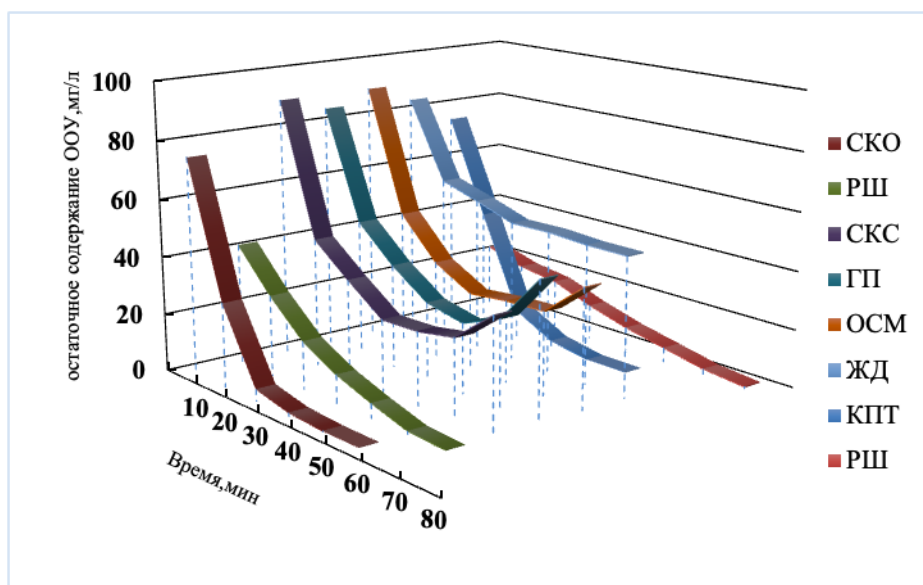


Рисунок 34 - Кинетика изменения остаточного содержания ООУ в сточных водах

ОА «Москокс» при их контакте с полученными активными углями паровой активации: СКО – фракция 0,5-1,0 мм и величина $Re_{ц}=2500$, РШ - 0,5-1,0 мм (для $C_o=23$ мг/л) и 1,0-2,0 мм (для $C_o=42$ мг/л) при $Re_{ц}=4200$, ЖД – 0,25-0,50 мм и $Re_{ц}=2620$ при дозе 0,4 г/л, ОСМ - 0,25-0,50 мм и $Re_{ц}=2250$, СКС - 0,25-0,50 мм и $Re_{ц}=9980$, ГП - 0,25-0,50 мм и $Re_{ц}=9600$, КПТ - 0,5-1,0 мм и $Re_{ц}=2600$

Условия контакта фаз в этих экспериментах соответствовали величинам $Re_{ц} = 2250-9980$ при различных показателях ООУ в свежесобраных образцах названных стоков (C_0) по данным работ [257-260, 282, 296, 349].

Анализ зависимостей, характеризуемых рисунком 34, позволяет констатировать, что в сопоставимых условиях контакта фаз по глубине очистки названных стоков полученные активные угли образуют ряд $СКО > КПП > РШ > СКС > ГП > ОСМ > ЖД$, а по ее интенсивности с обеспечением максимального результата - $ЖД > ОСМ > ГП > СКО > СКС > КПП > РШ$, причём по данному показателю расположение угля в последнем ряду зависит от величины C_0 , как это иллюстрирует пример РШ. Вместе с тем, за исключением активного угля на базе древесины ЖД, все эти адсорбенты (особенно при значительных дозах порядка 0,5-0,6 г/л) обеспечивают за относительно короткое время контакта фаз (в пределах 15 мин.) остаточное содержание ООУ на указанном выше уровне (30 мг/л) и существенно его ниже.

Формальное привлечение к экспериментальной информации, отражаемой рисунком 34, представлений о кинетике необратимых гомогенных простых реакций [424, 425] с использованием метода изолирования Освальда (метода избыточных концентраций) свидетельствует, что практически для всех кинетических кривых рисунка 32 их нисходящие участки наиболее точно можно аппроксимировать уравнением реакции первого порядка вида $\ln C = \ln C_0 - k_1 \tau$. Конкретные выражения уравнений кинетики адсорбции представлены в таблице 45 наряду с величинами констант скорости (рассчитанных с привлечением уравнения $k_1 = (1/\tau) \ln(C_0/C)$) и коэффициентов эффективной диффузии (оценённых с привлечением приближенной зависимости $D_0 = Kr^2/\pi^2\tau_{0,5}$, где K – коэффициент, зависящий от формы гранул адсорбента; r – радиус этих гранул в м; $\tau_{0,5}$ – время полу отработки поглотительной способности гранул согласно [92]) для соответствующих адсорбентов.

Таблица 46 - Показатели кинетики углеадсорбционной обработки стоков с территории коксохимического производства АО «Москокс»

Активный уголь на основе	Исходный показатель ООУ, мг/дм ³	Константа скорости	Уравнение кинетики адсорбции	Величина $D_3 \cdot 10^{-8}$, см ² /с
СКО	75	0,40	$C = 75 \exp(-0,4 \tau)$	8,70
РШ	42	0,030	$C = 42 \exp(-0,15 \tau)$	13,00
РШ	23	0,308	$C = 23 \exp(-0,06 \tau)$	6,50
ЖД	84	0,17	$C = 84 \exp(-0,17 \tau)$	26,03
ОСМ	90	0,34	$C = 90 \exp(-0,34 \tau)$	23,67
СКС	90	0,13	$C = 90 \exp(-0,13 \tau)$,	26,00
ГП	85	0,11	$C = 85 \exp(-0,11 \tau)$	26,03
КПТ	74	0,34	$C = 74 \exp(-0,34 \tau)$	17,50

Определённые величины коэффициентов эффективной диффузии (таблица 46) на несколько порядков меньше таковых при адсорбции из газовой фазы, составляющих согласно [119] $(12-20) \cdot 10^{-5}$. Значения констант скорости и величин D_3 образуют убывающие последовательности СКО>КПТ=ОСМ>РШ>ЖД>СКС>ГП и ЖД=ГП>СКС>ОСМ>КПТ>РШ>СКО, соответственно, не согласующиеся с приведёнными выше для глубины и интенсивности очистки.

Минимумы U-образных зависимостей рисунка 34,, наиболее чётко выраженные для углей, полученных из ГП, ЖД, ОСМ и СКС, указывают на необходимость ограничения длительности обработки стока при перемешивании в названных условиях примерно 12-15-ю минутами с последующим незамедлительным отделением адсорбента, так как большая длительность контакта фаз обуславливает возрастание показателя ООУ в обрабатываемой воде. Данный факт характерен для обработки многокомпонентных стоков коксохимического производства многими углеродными адсорбентами, как на это указывает ряд публикаций [83, 409]. Его гипотетически связывают с явлениями конкурентной адсорбции, происходящими за относительно короткое время от начала контакта фаз и сопряжёнными с вытеснением

быстро поглощаемых компонентов стоков с высокими показателями ООУ медленнее, но лучше (крепче, надёжнее) сорбирующимися с более низкими значениями ООУ.

В целом на развитие характеризуемых процессов, помимо отмеченной выше концентрации C_0 обрабатываемых стоков (характеризуемых содержанием взвешенных веществ на уровне 110 мг/л и величинами сухого и прокалённого остатков около 680 и 420 мг/л, соответственно) в большей или меньшей степени влияют доза адсорбента, размер его частиц и температура контакта фаз, как об этом свидетельствуют данные указанных выше работ [248, 265, 279, 377, 380]. В сопоставимых условиях контакта фаз все полученные из использованных растительных отходов активные угли, за исключением угля на базе древесины ЖД, обладают в соответствии с данными работ [240-243, 396] лучшими поглощательными свойствами при обработке названных стоков АО «Москокс» по сравнению с коммерческим активным углём марки БАУ российского производства.

В приложении П.8 на примере углеродкремнеземного поглотителя, полученного из РШ, охарактеризованы результаты использования методов математического планирования к рассматриваемым экспериментальным исследованиям с получением уравнений регрессии, отражающих связь остаточного содержания ООУ с размером зёрен адсорбента, его дозой и временем контакта фаз.

4.1.2. Фиксация плавающих нефтепродуктов

Удаление плавающих нефтепродуктов с поверхности водоёмов – весьма распространённая и важная природоохранная задача, эффективное решение которой возможно с использованием многих типов углеродных адсорбентов (вследствие их высокой гидрофобности и олеофильности [410, 411, 412, 413]), особенно таковых, формирующих соответствующие отходы в виде брака производства, остатков зачистки технологического оборудования, различных непреднамеренных просыпай, смета с цеховых территорий и иных некондиционных продуктов термической переработки сырья [86, 368]. Одну из серьёзных трудностей при реализации подобных мероприятий представляют задачи полного связывания разливов нефти и ее производных в виде тонких плёнок и их фрагментов. В связи с большой

значимостью данной задачи среди природоохранных проблем Мьянмы выполнена оценка полученных в работе целевых материалов в качестве агентов фиксации плавающих нефтепродуктов.

С целью названной оценки «в чашки Петри заливали по 50 мл дистиллированной воды, на поверхность которой различной площади посредством микрошприца наносили определённое количество дизельного топлива (ДТ) и ожидали его равномерного растекания с формированием сплошной плёнки определённой толщины d » [31]. На образовавшуюся плёнку с использованием примитивного коробчатого приспособления с ложным дном, выполненным из стальной сетки, закрытой распаивающимися створками, быстро рассеивали навеску испытуемого материала в виде порошков/зёрен определённой фракции, стараясь обеспечить их равномерное распределение, и отмечали время начала эксперимента длительностью 24 ч. Его развитие наблюдали визуально, фиксируя наиболее значимые этапы фотографированием.

Процесс произвольной фиксации углеродным адсорбентом плёнки ДТ соответствующей толщины в каждом эксперименте выражался в нарушении её сплошности (целостности) и стягивании образовавшихся её фрагментов вследствие хаотичного броуновского перемещения к отдельным частицам поглотителя или их агломератам с углеводородами, практически полностью завершался в пределах 3-5 мин. Дальнейшее развитие контакта фаз не приводило к заметным изменениям, за исключением некоторого дрейфа по зеркалу воды сформировавшихся агрегатов, сопровождаемого отдельными изменениями их формы и размеров. Для большей чёткости наблюдения за такими процессами в ряде случаев ДТ предварительно обрабатывали красителем «конго красный». Приведённые в качестве иллюстрационного примера фотографии рисунка 35 дают определённое представление о кинетике подобных процессов, условия и итоги осуществления которых применительно к обработке плёнок ДТ порошками их фиксаторов охарактеризованы в приложении П.7.

.



а



б



в

Рисунки 35 - Развитие процесса фиксации плёнки ДТ толщиной 1,4 мм порошком активного угля паровой активации на базе ЖД: длительность контакта фаз (мин): 0 (а), 1 (б) и 30 (в)

Сформировавшиеся агрегаты «фиксатор-ДТ» во всех изученных условиях контакта фаз оставались на плаву, вследствие чего их сбор с водной поверхности не представлял сложной задачи. Они не погружались в толщу воды в течение даже последующих трех месяцев хранения в чашках Петри, закрытых крышками. Сопоставимые результаты экспериментальной оценки эффективности связывания углеводородов плёночного ДТ с использованием всех видов полученных углеродных адсорбентов и проведённых расчётов, учитывающих значение удельной массы ДТ, составляющее согласно Ростехнадзору РФ $0,84 \text{ кг/дм}^3$ [414], отражает рисунок 36, выполненный по данным находящейся в приложении П.9 таблицы, содержащей условия контакта фаз проведенных испытаний наряду с рядом других их показателей.

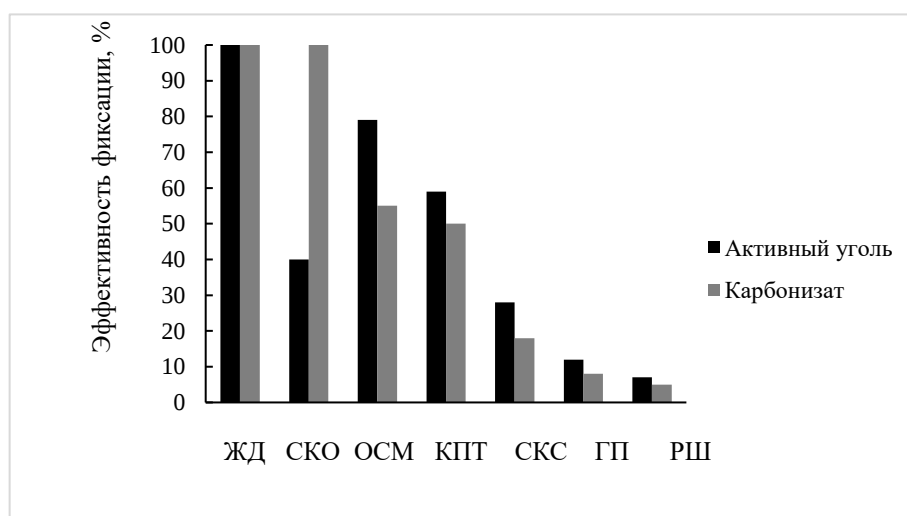


Рисунок 36 - Показатели эффективности связывания близких по толщине плёнок ДТ полученными углеродными адсорбентами

Информация, характеризующаяся рисунком 34 и названной таблицей приложения П.10, наряду с данными работ [415-417] и результатами выполненных исследований [418-422] позволяет констатировать следующие итоги применительно к полученным углеродным адсорбентам.

В указанных в таблице приложения П.10 условиях контакта фаз порошки продукта пиролиза СКО демонстрируют несколько лучшие результаты относительно таковых полученного из него активного угля, обеспечивая возможность практически 100 %-ного связывания углеводов тонких плёнок ДТ. При этом определённое увеличение дозы обоих фиксаторов приводит к росту результативности процесса.

Аналогичные углеродные материалы, полученные охарактеризованной термической переработкой РШ, в виде порошков такой же, как и для СКО, фракции (1-2 мм) характеризуют несколько иные свойства: продукт пиролиза проявляет худшие свойства по сравнению с кремне-углеродным адсорбентом с сохранением названного влияния дозы, что соответствует литературным сведениям [337], причём оба фиксатора характеризуют существенно более низкую, чем для СКО, способность к связыванию ДТ.

Характеризуемые производные древесины ЖД фракции 1-2 мм при указанных дозах демонстрируют полную фиксацию ДТ в виде плёнок толщиной 1,4 и 2,8 мм: на зеркале воды после удаления с него образовавшихся агрегатов «фиксатор-ДТ» отсутствуют даже следы радужных разводов остаточных углеводов, а доза активного угля ЖД на треть ниже таковой карбонизата ЖД, хотя обе значительно превосходят дозы продуктов на базе СКО и РШ.

Для углеродных адсорбентов фракции 0,5–1,0 мм на основе ОСМ эффективность фиксации углеводов ДТ продуктом пиролиза ниже таковой активного угля. Она экстремально зависит от толщины их плёнки (0,2-0,3-0,4 мм), максимально достигая соответственно 55 и 79,5 % при $d=0,3$ мм при равных дозах обоих фиксаторов, сопоставимых с таковыми для производных древесины ЖД.

В случае использования производных СКС такой же, что и для целевых продуктов переработки ОСМ, фракции и тех же величинах d эффективность связывания ДТ увеличивается для карбонизата СКС с ростом d , максимально

составляя 31,4 %, но для активного угля СКС демонстрирует наибольшую величину (27,9 %), проявляемую при толщине его плёнки 0,3 мм. Таким образом, продукт пиролиза этого отхода при данном показателе d существенно уступает активному углю.

Применение порошков фракций 0,5–1 и 0–0,5 мм продукта пиролиза ГП и полученного из него активного угля для обработки одинаковыми дозами плёнки ДТ толщиной 0,2 мм свидетельствует о существенном преимуществе использования более тонкой фракции. При этом эффективность связывания ДТ резко сокращается с увеличением размера фракции фиксатора.

Продукт пиролиза КПТ фракции 1–2 мм демонстрирует рост связывания сравнительно тонкой плёнки ДТ с увеличением его дозы (до 78,5 %), хотя при вдвое большей ее толщине эффективность фиксации существенно снижается, достигая лишь 50 %. Для активного угля КПТ имеют место те же закономерности, однако при обработке относительно тонкой плёнки ДТ степень ее фиксации достигает 100 %. При большей толщине такой плёнки степень ее связывания этим продуктом существенно сокращается.

По максимальной величине фиксации углеводов ДТ в изученных условиях контакта фаз полученные целевые продукты пиролиза использованных отходов образуют следующую последовательность: КПТ (5,20)>СКО (4,73)>СКС (2,00)>ОСМ (1,73)>ЖД (0,86)>РШ (0,39)>ГП (0,27 г/г), а активные угли паровой активации на их основе - несколько иную: КПТ (4,60)>ОСМ (3,05) = СКС (3,05)>ЖД (1,70)>СКО (0,82)>РШ (0,57)>ГП (0,36 г/г).

Наряду с изложенным следует подчеркнуть, что многие другие подобные материалы, полученные на основе древесного сырья, а также некоторые растения и растительные отходы, являющиеся лучшими на рынке сорбентами, предназначенными для характеризуемой цели, отличает способность к связыванию плавающих нефтепродуктов 8-12 г/г [210, 423-429] значительно превосходящая таковую, охарактеризованных поглотителей, что, однако, не исключает целесообразность использования последних.

Обработкой большинства механически удалённых с поверхности воды сформировавшихся агрегатов «фиксатор-ДТ» четырёххлористым углеродом с последующим разделением фаз и отгонкой остатка этого экстрагента сушильном шкафу при 110 °С до обеспечения постоянной массы образца получены регенерированные адсорбенты, эффективность применения которых с той же целью в аналогичных условиях оценена при их циклическом использовании. Типичная гистограмма такого использования, представленная на рисунке 37, свидетельствует о некотором падении в большинстве случаев (в пределах до 8 %) фиксирующей способности полученных углеродных адсорбентов в первые 2–4 цикла и ее дальнейшем сохранении в ряде последующих циклов. Исключение составляют углеродные адсорбенты на основе ОСМ и СКС, связывающая способность которых к 5–6 циклу использования сокращается на 10–11 % (для активного угля на базе ГП на 15,4 %).

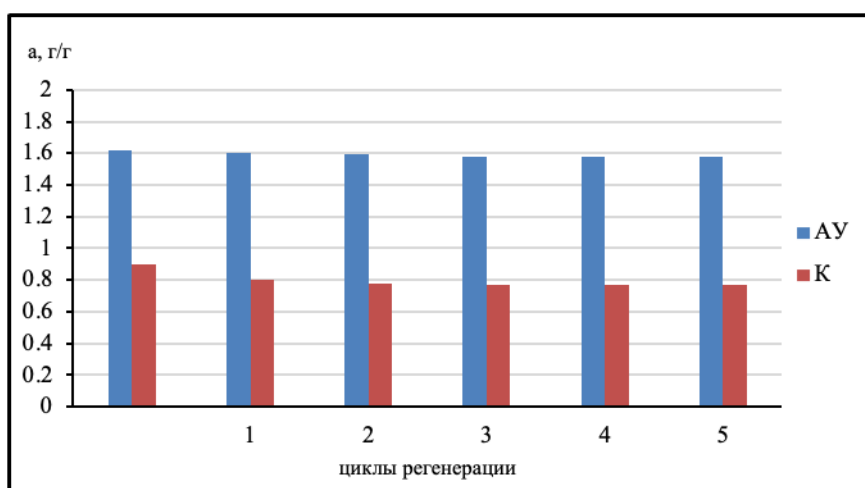


Рисунок 37 - Эффективность циклического использования порошков фракции 1–2 мм продукта пиролиза древесины ЖД (К) и полученного из него активного угля (АУ) при фиксации дизельного топлива в виде пленок толщиной 1,4 и 2,8 мм соответственно

Общее свойство использованных углеродных адсорбентов при обработке их порошками плёночного ДТ в указанных условиях демонстрируется наличием максимумов их удельного связывания (в г/г) на зависимостях этого показателя, как от дозы фиксатора, так и от толщины d топливной плёнки. При этом обеспечивающая

максимальную фиксацию ДТ доза для продукта пиролиза отхода обычно существенно превышает таковую для соответствующего угля паровой активации, а использование тонких фракций углеродных адсорбентов способствует глубине и интенсификации обеспечения эффекта фиксации.

4.2. Обработка паровоздушных потоков

Активные угли представляют собой наиболее используемые адсорбенты при решении задач улавливания из сбросных и технологических паровоздушных и парогазовых потоков содержащихся в них органических паров, в частности, таковых летучих органических растворителей (ЛОР) [94, 95, 98, 107, 117]. В этой связи активные угли, полученные из использованных отходов, оценены в качестве таких средств при извлечении паров ЛОР из их смесей с воздухом на примере одного из наименее токсичных их представителей – н-бутанола.

4.2.1. Кинетика поглощения активными углями паровой активации паров н-бутанола из их смесей с воздухом

Технологическая, рекуперационная и санитарная газоочистка применительно к обработке паровоздушных смесей (ПВС) в виде производственных потоков и выбросов, содержащих пары ЛОР, является важнейшей сферой использования активных углей [83].

Интенсивность и эффективность насыщения близких по размерам зёрен активных углей паровой активации из потоков ПВС различной концентрации при их удельном расходе $2,5 \text{ л}/(\text{мин} \cdot \text{см}^2)$ определены при комнатной температуре с привлечением проточного трубчатого адсорбера, оснащённого пружинными весами в виде кварцевой спирали, снабжённой лёгкой стеклянной сетчатой корзинкой для размещения зёрен адсорбента, и катетометра КМ-6 для контроля вертикального растяжения предварительно откалиброванной спирали [92]. Выражающие кинетику этих процессов результаты выполненных гравиметрических испытаний, более детально изложенные для ряда названных углей в работах [282, 296, 349, 435, 447-

451], характеризуют данные рисунка 38, основанные на информации приложения П 7.

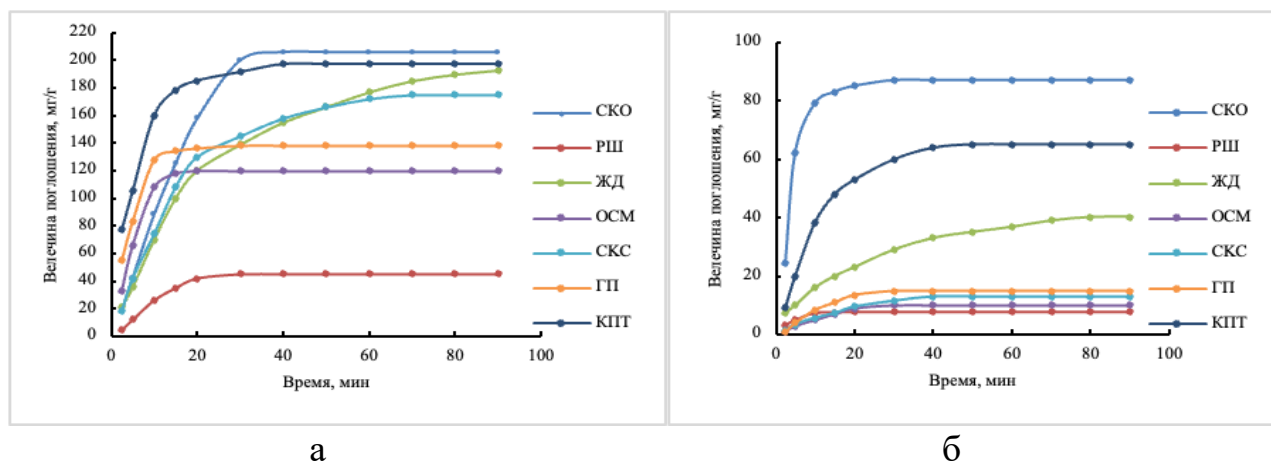


Рисунок 38 - Кинетика адсорбции углями паровой активации при 20-22 °С паров н-бутанола из его смесей с воздухом при $p/p_s = 1$ (а) и $p/p_s = 0,1$ (б)

Эти данные свидетельствует, что при значении $p/p_s = 1$ согласно величинам предельного поглощения полученные активные угли образуют нисходящую последовательность вида $СКО > КПТ > ЖД > СКС > ГП > ОСМ > РШ$, сохраняющуюся в целом и для $p/p_s = 0,1$, за исключением того, что позиции для СКО и РШ в последнем случае меняются местами, причём подобные изменения имеют место и при иных величинах p/p_s в пределах их изученного интервала. Согласно представленным на рисунке 38 зависимостям и условиям их получения оценены с использованием указанной выше приближенной зависимости ($D_s = Kr^2/\pi^2\tau_{0,5}$ [2]) значения эффективного коэффициента диффузии D_s , являющегося критерием количественной оценки кинетики адсорбции, реализуемой во внутридиффузионной области. Их значения наряду с аппроксимирующими кинетику и равновесие (раздел 4.2.2) уравнениями представлены в таблице 47.

Таблица 47 - К характеристике кинетики адсорбции полученными активными углями паров н-бутанола из их смесей с воздухом

Основа угля и величина p/p_s	Величина D_3 , $\text{см}^2/\text{с}$	Значение			Вид уравнения	
		R, см	K	$\tau_{0,50}$, мин	кинетики $a = A(1-e^{-B \cdot \tau})$	равновесия $a = K(P)^n$
СКО, 1,0	$7,8 \cdot 10^{-5}$	0,25	0,308	25	$a = 208((1-e^{-0,05 \cdot \tau})$	$a = 2,78(P)^{0,51}$
СКО, 0,1	$9,7 \cdot 10^{-5}$	0,25	0,308	20	$a = 80 (1-e^{-0,05 \cdot \tau})$	$a = 0,15(P)^{0,51}$
РШ, 1,0	$6,2 \cdot 10^{-5}$	0,20	0,308	20	$a = 164 (1-e^{-0,5 \cdot \tau})$	$a = 0,60 (P)^{0,75}$
РШ, 0,1	$8,3 \cdot 10^{-5}$	0,20	0,308	15	$a = 62 (1-e^{-0,15 \cdot \tau})$	$a = 0,39(P)^{0,75}$
ЖД, 1,0	$8,5 \cdot 10^{-5}$	0,35	0,308	45	$a = 193 (1-e^{-0,05 \cdot \tau})$	$a = 2,61 (P)^{0,7}$
ЖД, 0,1	$8,5 \cdot 10^{-5}$	0,35	0,308	45	$a = 80 (1-e^{-0,03 \cdot \tau})$	$a = 0,04(P)^{0,7}$
ОСМ, 1,0	$9,8 \cdot 10^{-5}$	0,25	0,308	20	$a = 121 (1-e^{-0,23 \cdot \tau})$	$a = 1,61 (P)^{0,2}$
ОСМ, 0,1	$9,8 \cdot 10^{-5}$	0,25	0,308	20	$a = 5 (1-e^{-0,3 \cdot \tau})$	$a = 0,11(P)^{0,2}$
СКС, 1,0	$5,6 \cdot 10^{-5}$	0,25	0,308	35	$a = 175 (1-e^{-0,3 \cdot \tau})$	$a = 2,56 (P)^{1,4}$
СКС, 0,1	$5,6 \cdot 10^{-5}$	0,25	0,308	35	$a = 90 (1-e^{-0,3 \cdot \tau})$	$a = 0,1(P)^{1,4}$
ГП, 1,0	$14,5 \cdot 10^{-5}$	0,3	0,318	20	$a = 138 (1-e^{-0,23 \cdot \tau})$	$a = 1,86 (P)^{1,1}$
ГП, 0,1	$14,5 \cdot 10^{-5}$	0,3	0,	20	$a = 25 (1-e^{-0,4 \cdot \tau})$	$a = 0,15(P)^{1,1}$
КПТ, 1,0	$8,5 \cdot 10^{-5}$	0,26	0,308	25	$a = 190 (1-e^{-0,16 \cdot \tau})$	$a = 2,66 (P)^{0,34}$
КПТ, 0,1	$7,0 \cdot 10^{-5}$	0,26	0,308	30	$a = 135 (1-e^{-0,06 \tau})$	$a = 0,44(P)^{0,34}$

Примечания: К – коэффициент, зависящий от формы гранул адсорбента; r – радиус этих гранул в м; $\tau_{0,5}$ - время полуотработки поглотительной способности гранул [2].

Таким образом, в сопоставимых условиях контакта фаз характеризующая кинетика существенно зависит как от концентрации целевого компонента в обрабатываемом потоке, так и от структуры используемого активного угля. По интенсивности насыщения при $p/p_s = 1$ полученные активные угли образуют убывающую последовательность вида КПТ>РШ>ОСМ>СКО>СКС>ЖД>РШ,

отличную от последовательности при $p/p_s = 0,1$ - СКО>КПТ>ЖД>ГП>СКС>ОСМ>РШ.

4.2.2. Равновесие поглощения активными углями паровой активации паров н-бутанола из их смесей с воздухом

Охарактеризованные выше результаты систематических исследований характеризуемой кинетики позволяют ориентировочно оценить равновесие в исследованных системах, выражаемое данными рисунка 39.

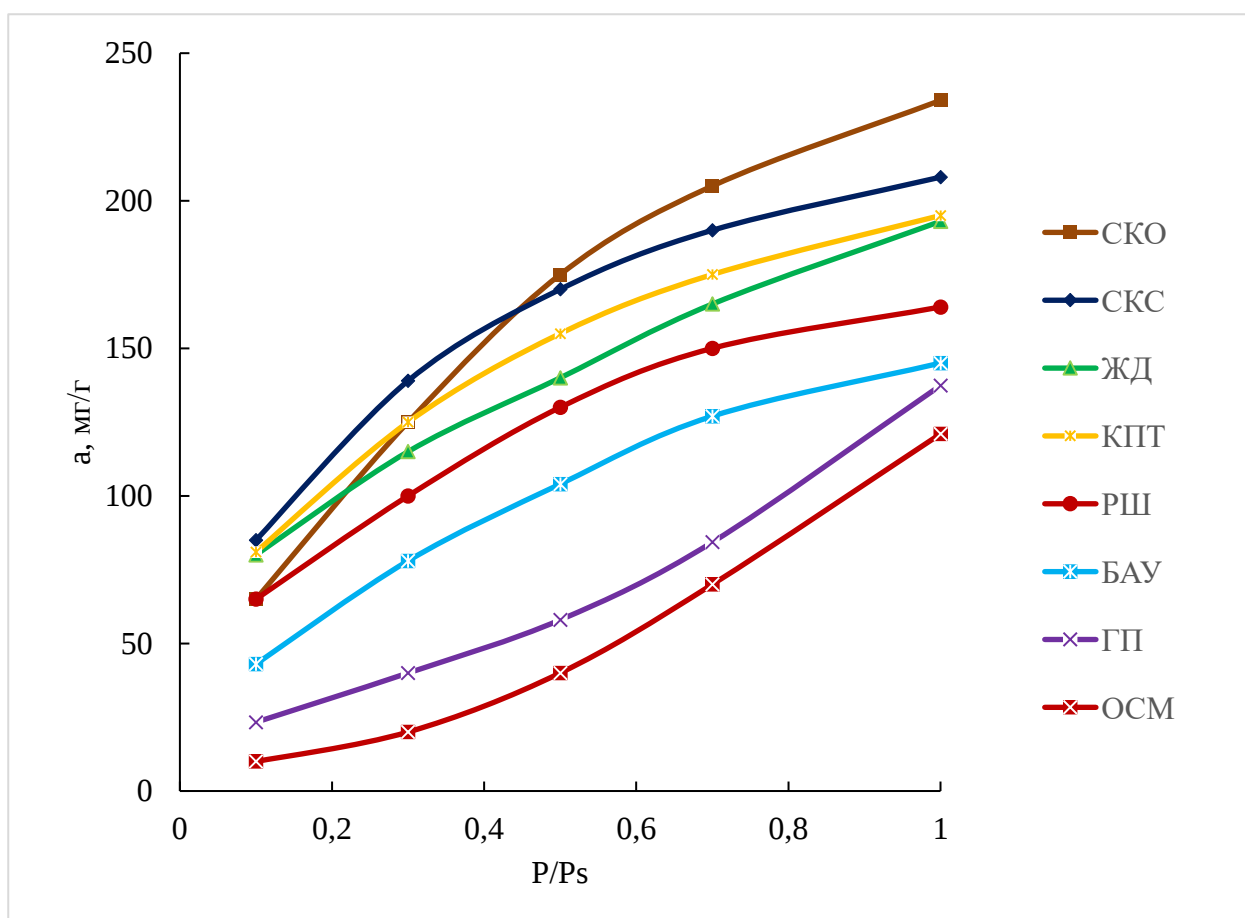


Рисунок 39 - Изотермы адсорбции при 20 °С паров н-бутанола
полученными активными углями

Данные рисунка 36 (а) указывают на малую целесообразность использования с названной целью активных углей на базе ГП и ОСМ. Описание равновесия поглощения паров н-бутанола при 20 °С другими углями, полученными из использованных отходов, с привлечением уравнений Ленгмюра и Фрейндлиха для их

большинства не увенчалось успехом. Ввиду отсутствия экспериментальных точек в области p/p_s от 0,05 некорректным представляется и привлечение уравнения БЭТ [92]. Вместе с тем экспериментальные точки полученных зависимостей $\alpha = f(p/p_s)$ достаточно чётко следуют прямой линии в логарифмических координатах уравнения Дубинина М.М. - $a = V_0/V_m \exp[-k(RT \ln(p_s/p))^2]$, $D = -k(RT)^2$ [2], указывая на возможность описания характеризованного равновесия этим уравнением. Описание линейные уравнения из графиков СКО -, СКС -, ЖД -, КПТ -, и РШ -. Величины предельных адсорбции 6,366, 6,498, 6,366, 6,221, 6,044 (ммоль/г) и значения коэффициентов k – 8.19, -14,36, -7,75, -7,03, -7,78 $\times 10^{-8}$. Следует отметить, что равновесная кривая адсорбции н-бутанола для родственного по природе активного угля БАУ российского производства при той же температуре располагается существенно ниже кривых для СКО, РШ, ЖД, СКС и КПТ.

Важнейшее значение для практического применения активных углей имеют вопросы их регенерации и циклического использования. На гистограмме рисунка 40 охарактеризован круг этих вопросов применительно к циклической работе полученного на базе СКС активного угля при насыщении его парами бензола при комнатной температуре эксикаторным методом и регенерации в течение 1 часа водяным паром в реакторе, нагретом до ~ 150 °С [491].

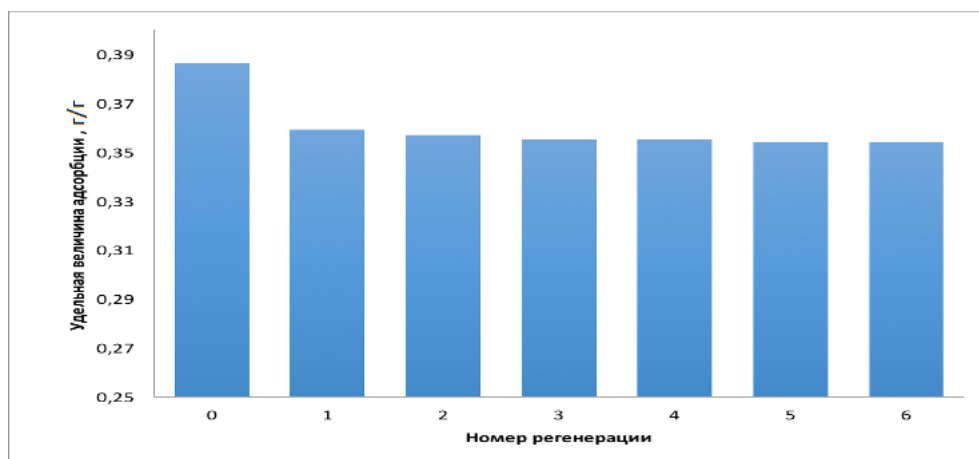


Рисунок 40 - Зависимость удельной величины адсорбции паров н-бутанола активным углём на базе СКС от числа операций регенерации

Данные рисунка 40 наглядно свидетельствуют, что в условиях охарактеризованной регенерации активный уголь, полученный из СКС, теряет примерно 6,5 % своей начальной активности в первых двух циклах «адсорбция-регенерация», после чего адсорбент функционирует практически стабильно. Подобный характер носят и аналогичные зависимости для углей на основе СКО, РШ и КПТ. Исключением из этой закономерности является активный уголь на базе древесины ЖД, стабильно демонстрирующий начальную поглотительную способность, как это иллюстрируют данные рисунка 41, при его циклической эксплуатации.

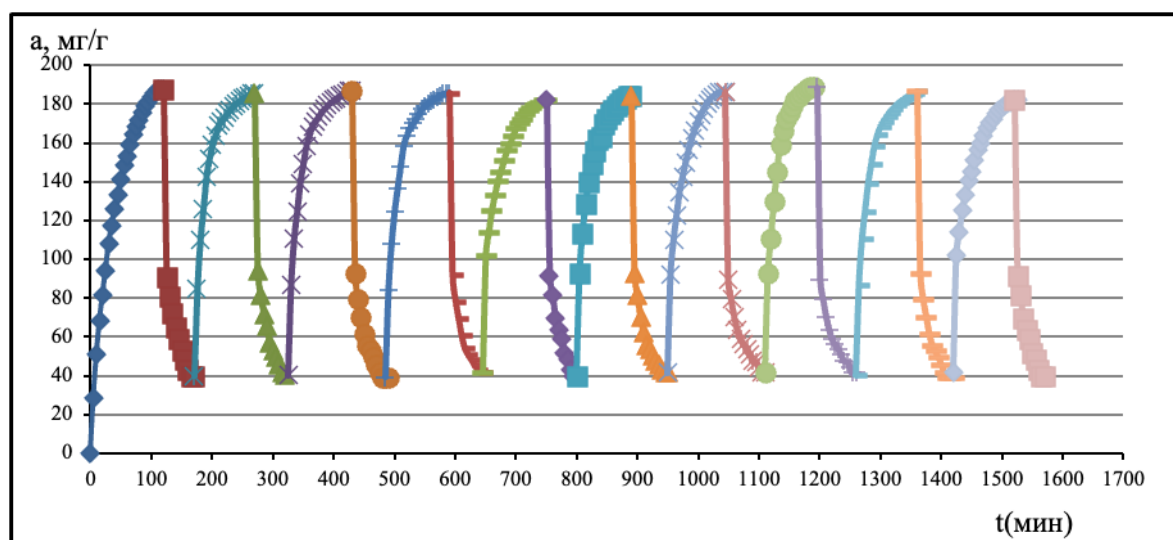


Рисунок 41 - Характер циклического использования активного угля на базе древесины ЖД при адсорбции н-бутанола из его смеси с воздухом при $P/P_s=1$ (удельный расход ПВС 2,5 л/(мин·см²); фракция 2-4 мм; условия регенерации: термическая обработка в течение 20 мин при 120-150 °С)

Резюмируя изложенное выше, следует подчеркнуть, что активные угли, полученные из отходов СКО, РШ, ЖД, СКС и КПТ, в силу охарактеризованных закономерностей адсорбционного равновесия не обеспечивают возможности эффективного глубокого извлечения паров ЛОР из их ПВС низких концентраций, что обычно свойственно большинству производственных выбросов (ПВС), содержащих пары ЛОР. В связи с этим обстоятельством рациональным может быть их

использование для предварительного извлечения таковых из более концентрированных сред и потоков наряду с иными приёмами [117].

4.3. Эффективность активных углей, полученных паровой активацией, в решении специфичных задач

Варьирование условий получения активных углей, производимых из использованных отходов, наряду с модифицированием этого сырья или получаемых его пиролизом карбонизированных продуктов обеспечивают в ряде случаев получение углеродных адсорбентов, обладающих повышенной поглотительной способностью в отношении ряда веществ [385].

4.3.1. Получение углерод-минеральных адсорбентов с высокой активностью по йоду и красителю метиленовому голубому

При выборе активных углей для обработки многокомпонентных сточных вод во многих случаях ориентируются на величины поглощения ими йода (I) и красителя метиленового голубого (МГ). Согласно результатам выполненных исследований пиролиза РШ увеличение его длительности обуславливает снижение выхода целевого продукта, сопряжённое, однако, с определённым ростом у последнего обоих названных показателей. Аналогичный эффект имеет место и при увеличении длительности активации продукта карбонизации РШ водяным паром. Эти обстоятельства в связи, в частности, с указанным свидетельствуют о рациональности выявления возможности развития названной поглотительной способности получаемых данным путём из РШ углеродминеральных адсорбентов.

Результаты исследования влияния длительности изотермической выдержки при различных температурах целевого продукта пиролиза РШ на его выход и поглотительную способность по I и МГ характеризуют данные таблицы 48.

Таблица 48 - Зависимости показателей выхода и поглощения I и МГ для продуктов карбонизации РШ при 500–750 °С от длительности изотермической выдержки при конечных температурах

Показатель и его размерность	Величина показателя при интенсивности нагревания (10/15) °С/мин. и длительности изотермической выдержки, мин.:				
	30	60	90	120	150
При конечной температуре 500 °С					
Выход, %	43,5/43,6	43,4/43,3	42,6/42,7	42,1/42,0	41,6/41,6
Поглощение I, мг/г	50,6/50,5	51,3/51,3	52,2/52,1	52,9/53,0	53,1/53,2
Поглощение МГ, мг/г	255/256	257/257	259/258	261/260	262/260
При конечной температуре 650 °С					
Выход, %	40,2/40,2	40,2/40,1	40,1/40,0	39,6/39,7	39,3/39,2
Поглощение I, мг/г	70,1/70,0	72,0/72,1	73,0/73,0	73,9/74,0	74,3/74,4
Поглощение МГ, мг/г	303/302	305/304	306/306	307/308	309/309
При конечной температуре 750 °С					
Выход, %	39,4/39,3	38,9/39,0	38,7/38,6	37,9/38,0	37,7/37,7
Поглощение I, мг/г	78,2/78,0	80,3/80,4	82,6/82,6	85,2/85,0	86,1/86,0
Поглощение МГ, мг/г	314/312	316/315	321/319	324/325	325/326

Представленные в таблице 48 данные в целом подтверждают отмеченные выше закономерности относительно вариации выхода и поглощения I и МГ продуктами пиролиза РШ под воздействием конечной температуры и длительности изотермической выдержки, причём интенсивность нагревания сырья обуславливает аналогичные закономерности. Целесообразную длительность названной выдержки с позиций обеспечения наибольшей емкости по I и МГ в исследованном интервале представляет таковая в течение 100–120 мин. Пиролиз при температурах выше 750 °С не рассмотрен по технико-экономическим соображениям.

В свете данных обстоятельств логично оценить характер изменения указанной поглотительной способности углеродминеральных адсорбентов, получаемых активацией водяным паром целевых продуктов пиролиза РШ в условиях интенсификации охарактеризованной технологии за счёт исключения операции промежуточного охлаждения данных продуктов. С этой целью один из последних, полученный пиролизом РШ с интенсивностью нагрева 15 °С/мин. до 650 °С с последующей изотермической выдержкой в течение 120 мин, без охлаждения обрабатывали водяным паром с принятым на основании предварительно выполненных исследований в качестве рационального удельным расходом $2,25 \pm 0,25$ кг на 1 кг карбонизированного материала, поднимая одновременно температуру в реакторе с той же скоростью до уровня 760-820 °С и осуществляя изотермическую выдержку целевого продукта в пределах 20-50 мин, рекомендованных в [452]. Полученные экспериментальные результаты представлены в таблице 49.

Таблица 49 - Зависимости показателей выхода и поглощения I и МГ углеродминеральными адсорбентами на базе продукта пиролиза РШ от длительности изотермической выдержки при различных температурах активации водяным паром с удельным расходом $2,25 \pm 0,25$ кг на 1 кг активного угля.

Показатель и его размерность	Величина показателя при длительности изотермической выдержки, мин.:			
	20	30	40	50
Температура 760 °С				
Выход от сырья, %	37,5	37,4	37,3	37,2
Поглощение I, мг/г	183	184	185	185
Поглощение МГ, мг/г	762	765	770	768
Температура 780 °С				
Выход от сырья, %	37,2	37,2	37,1	37,1
Поглощение I, мг/г	231	235	240	237
Поглощение МГ, мг/г	902	916	940	935
Температура 800 °С				
Выход от сырья, %	37,1	37,0	36,9	36,8
Поглощение I, мг/г	218	221	225	225
Поглощение МГ, мг/г	796	803	815	812
Температура 820 °С				
Выход от сырья, %	35,6	35,5	35,4	35,4

Поглощение I, мг/г	141	153	160	162
Поглощение МГ, мг/г	669	674	680	681

Представленные в таблице 50 данные свидетельствуют о проявлении отмеченной при пиролизе РШ закономерности и при активации его карбонизированного продукта водяным паром с обеспечением получения углеродминеральных адсорбентов, демонстрирующих высокие величины поглощения I и МГ. Следует отметить, что источники доступной научно-технической информации весьма неоднозначны и даже противоречивы в отношении поглотительной способности твёрдых продуктов термической переработки РШ по I и МГ. В работах [246, 247, 354], например, подчёркнуто практическое отсутствие у таких продуктов указанных выраженных адсорбционных свойств, либо их незначительность, другие же публикации, например [336, 453-455] напротив, свидетельствуют о весьма высоких значениях этих показателей, достигающих нескольких десятков и сотен мг/г по I и МГ, соответственно.

Таблица 50 - Условия подготовки активного угля полученных из РШ - масса 100 г и расход пара 2,2 кг/кг для адсорбции йоду (I) и МГ.

Пример	Подъём температуры, °С/мин	Конечная температура, °С		Время выдержки при конечной температуре кар., мин	Степени адсорбции, мг/г		Обгар, %
		Кар.	Акт.		I	МГ	
1.	10-15	500	780	100	200	800	40-50
2.	10-15	750	800	120	230	900	40-50
3.	10-15	650	790	110	250	900	40-50

Активный уголь, полученный по прототипу (патент РФ № 2527221), имел адсорбционную активность по йоду 120 мг/г, а по МГ-90 мг/г. Эти обстоятельства наряду с охарактеризованными выше результатами явились основанием для подачи в ФИПС РФ заявки на предполагаемое изобретение, по итогам рассмотрения которой получен патент [456].

4.3.2. Совершенствование улавливания паров метанола из табачного дыма

Минимизация ущерба здоровью курящих в значительной степени связана с качеством активных углей, входящих в количестве около 0,1–1 г в состав сигаретных фильтров, сменных патронов дымовых каналов табачных трубок и ряда различных курительных мундштуков [85, 440]. Изотерма адсорбции при 20 °С паров н-бутанола из его смесей с воздухом, как и таковая низкотемпературной адсорбции азота при сравнительно низких значениях p/p_s активным углём паровой активации на базе древесины ЖД располагается лишь несколько ниже аналогичной угля на основе СКО [31, 76, 257, 343]. В этой связи в работе при содействии и участии лаборатории активных углей, эластичных сорбентов и катализаторов АО «ЭНПО «Неорганика» изучена эффективность использования активного угля, полученного из ЖД, для улавливания из табачного дыма паров одного из его наиболее опасных компонентов – метанола.

Табачный дым по данным названных выше работ [94, 457] может содержать сотни различных веществ в зависимости от сорта табака и приёма его курения. В дыме сгорания одной сигареты обычно находится в среднем от 90 до 180 мкг метанола [94]. Проведёнными исследованиями, выполненными с привлечением отраслевой методики [458], оценена поглотительная способность указанного угля по метанолу, как находящаяся в пределах 180–200 мкг/г. В ходе испытаний воздух с содержанием метанола 40–80 мг/м³ пропускали сквозь стандартный слой частиц угля с поперечником 2–4 мм и массой 10 г до его проскока с последующим установлением значений динамической адсорбционной активности.

Таблица 51 - Условия подготовки активного угля полученных из железного дерева ЖД с массой 1 кг сырья.

Условия	Ед.	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Фракция сырья	мм	3	7	5
Подъём температура	°С/мин	10	12	11
Конечная температура карбонизации.	°С	420	450	435
Изотермическая выдержка карбонизации	мин.	15	15	15

Конечная температура активации.	°С	850 ± 20	850 ± 20	850 ± 20
Изотермическая выдержка активации	мин	90	90	90
Расход пара.	кг/кг	3	5	4
Обгар.	%	~ 45-50	~ 45-50	~ 45-50
Адсорбция по парам метанола.	мкг/г	180	190	200

Активный уголь, полученный по известному способу (патент РФ2646074 кл С01В32318,32312 опубликован 01,03,2018), имел адсорбционную активность по парам метанола 120 мкг/г. В связи с выявленными высокими показателями названной поглотительной способности и результатами проведённого патентного поиска подана заявка на предполагаемое изобретение, по результатам рассмотрения которой ФИПС РФ выдан патент [473].

4.3.3. Осветление растворов желатина

Способность желатина к образованию студней обусловила его широкое применение в целом ряде отраслей, в том числе в пищевой промышленности, фотографиических материалов, микробиологии (создание питательных сред для культивирования микроорганизмов), в медицине и фармакологии (приготовление водных инъекционных растворов). Желатин получают из нативного коллагена - фибриллярного белка – основы соединительной ткани животных (кожи, связок, сухожилий, хрящей, костей и др.), обеспечивающей ее прочность [474]. Он плохо растворим в обычной (рН ~7) воде и при умеренном нагревании в ее растворах денатурирует с разрывом нековалентных связей: его α-цепи расплетаются и «плаваются» с образованием желатина [255].

С целью очистки (осветления) водного медицинского 10 %-ного инъекционного раствора желатина, производимого в фармацевтической промышленности, используют активные угли в виде частиц размером менее 100 мкм после специальной обработки [282]. Последнюю реализуют в соответствии с методикой, охарактеризованной в [447]. Согласно этой методике определённую дозу угля помещают в горячую (~90 °С) очищенную воду, содержащую постепенно добавленное заданное количество соляной кислоты квалификации «х.ч.», и

перемешивают в течение 30 мин образовавшуюся суспензию. Последнюю после названной операции переносят на нутч-фильтр, где отделяют уголь от раствора и многократно его промывают вначале горячей, а затем очищенной водой комнатной температуры с тщательным отжимом и анализом промытого угля на содержание солей кальция, тяжёлых металлов, хлоридов и сульфатов.

Саму осветляющую способность оценивают путём внесения в 10 %-ный водный раствор желатина (из расчёта на 1 л раствора) белка трех яиц и 3 % активного угля, обработанного в соответствии с описанной методикой непосредственно перед внесением, нагревания образовавшейся суспензии до 105 °С и ее выдерживания в течение 15 мин, сопровождаемого объёмным захватом механических загрязнений свернувшимся белком. При этом для определения эффекта осветления используют градуированный цилиндр Спеллена и печатный шрифт Спеллена № 1 с высотой букв на белой пластинке 3,5 мм в соответствии со стандартом, описанным в [476, 477].

В условиях указанных испытаний активный уголь, полученный на основе ОСМ, оказался весьма эффективным средством осветления растворов желатина, проявив осветляющую способность, составляющую 94–98 %, что значительно выше данной характеристики (81-84 %) активного угля, обнаруженного патентным поиском и принятого в качестве прототипа [476] при подготовке и подаче заявки на предполагаемое изобретение Роспатент. При ее рассмотрении последним выдан патент [482], охарактеризованных в таблице 52.

Таблица 52 - Условия подготовки активного угля полученных из оболочек семян манго (ОСМ) с массой сырья 1 кг.

Условия	Ед.	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Фракция сырья	мм	1	5	3
Подъём температура	°С/мин	10	15	12
Конечная температура карбонизации.	°С	550	600	575
Изотермическая выдержка карбонизации	мин.	20	30	30
Конечная температура активации.	°С	800	820	810

Изотермическая выдержка активации	мин	-	-	-
Расход пара.	кг/кг	5-7	5-7	5-7
Обгар.	%	~ 45-50	~ 45-50	~ 45-50
Осветляющая способность желатина .	%	94	96	98

Активный уголь, полученный согласно по прототипу, имел осветляющую способность 81-84%.

4.3.4. Глубокая очистка воды от фенола

Доля потребления активных углей в процессах водоочистки составляет около 1/3 их мирового производства. Одной из их важнейших функций в технологиях этой ориентации является извлечение из воды фенолов и их производных [103, 130, 466].

В выполненных исследованиях, связанных с СКС, обнаружена способность полученных на ее основе активных углей к эффективному извлечению фенола низких концентраций из его водных растворов. В этой связи с привлечением лаборатории активных углей, эластичных сорбентов и катализаторов АО «ЭНПО «Неорганика» (г. Электросталь), имеющей большой опыт в области углеадсорбционной водоподготовки и водоочистки, выполнен цикл исследований данной направленности с использованием образцов активного угля на базе СКС, подготовленных в виде зёрен с размером 2-3 мм и полученных в условиях, охарактеризованных в таблице 53.

Таблица 53 - Условия подготовки активного угля полученных из скорлупы косточек сливы (СКС) с массой 1 кг сырья.

Условия	Ед.	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Подъем температура	°С/мин	10	15	12,5
Конечная температура карбонизации.	°С	600	650	700
Изотермическая выдержка карбонизации	мин.	20	30	25
Конечная температура активации.	°С	800	920	900
Изотермическая выдержка активации	мин.	-	-	-
Расход пара.	кг/кг	7-10	7-10	7-10
Обгар.	%	~ 15	~ 20	~ 18

Степени удаления фенола от воды с концентрацией 0,01 мг/л.	мг/л	0,0080	0,0083	0,0077
--	------	--------	--------	--------

Равновесная концентрация фенола в воде после её обработки активным углём, полученным согласно прототипу (пат. РФ № 2105714), составила 0.018 мг/л. Для исследований использован раствор в воде фенола концентрацией 0,01 мг/л. Условия выполненных экспериментов составляли: доза угля 1 г на 1 л названного раствора и время контакта фаз 30 мин. Остаточное (равновесное) содержание фенола в растворе определяли после разделения фаз с использованием жидкостного хроматографа «Миличром 5-6». Итоги этих определений позволили констатировать, что остаточное содержание фенола составило 0,0080, 0,0083 и 0,0077 мг/л при использовании образцов 1, 2 и 3, соответственно, что существенно превосходит результат применения с данной целью обнаруженного патентным поиском прототипа [485], составляющий 0,018 мг/л, и было положено в основу патентной заявки. По итогам рассмотрения последней ФИПС получен патент РФ [486].

4.3.5. Очистка почвы от остатков гербицидов

Как отмечено в работе [487], современное сельскохозяйственное производство интенсивного направления предполагает с целью повышения урожайности культивируемых растений использование широкой гаммы химикатов в виде минеральных удобрений, мелиорантов, микроэлементов, ингибиторов нитрификации, ядовитых пестицидов и гербицидов. В этой связи считают, что в развитых странах не менее 50–60 % сельскохозяйственной продукции получают за счет использования названных удобрений, а 20 % продукции полеводства и 60 % плодоводства - вследствие применения химических средств защиты растений. В экономически отсталых (развитых) странах до половины (до 15–25 %) возможного урожая погибает от сорняков и вредителей. Производство пестицидов в мире оценивают в 0,5 кг в год на каждого человека (более 2 млн. тонн в год), а отказ от их применения, по данным ФАО, мог бы снизить глобальный урожай основных культур на 30–35 % [62].

Наряду с этим освоение названных интенсивных систем земледелия приводит к всё большему загрязнению пахотных почв остаточными пестицидами. Эти ядохимикаты могут сохраняться в почве до двух и даже трех лет, в связи с чем они способны поступать в ткани выращиваемых культур и далее в пищевые и кормовые продукты питания. В связи с этим вся система использования сельскохозяйственных угодий должна быть ориентирована на полную и скорейшую детоксикацию остаточных ядохимикатов и токсичных продуктов их естественной деградации. В решении этой задачи особенно эффективны способы детоксикации, основанные на использовании пористых адсорбентов (активных углей, цеолитов), вносимых в почву в различных (от единиц до десятков тонн на га) количествах.

В исследованиях этого плана, выполняемых в содружестве с АО «ЭНПО «Неорганика» на примере адсорбционной детоксикации почв сельскохозяйственных угодий от остатков гербицида атразина (майазина), являющегося одним из основных гербицидов, применяемых при возделывании риса, были испытаны активные угли, полученные на базе гуза-пай.

Оценка эффективности их использования проведена на примере выращивания рапса в качестве тест-культуры [398]. Для высева его семян использовали горшки, содержащие 600 г почвы, загрязнённой указанным гербицидом в дозе, соответствующей 8 кг/га, в которую вводили активный уголь из расчёта 100 кг на 1 га. По истечении 30 суток оценивали среднюю массу тест-растения в горшке путём срезания его по верхнему краю горшка и взвешивания на электронных весах. Эффективность детоксикации почвы устанавливали по отношению массы тест-растения в опытных горшках к массе тест-растения в контроле (где в загрязнённую гербицидом почву активный уголь не вводили) [85].

Условия получения активных углей на базе гуза-пай и результаты детоксикации почвы, полученные с их использованием указанным выше способом, охарактеризованы в таблице 54.

Таблица 54 - Режимы получения из гуза-паи активных углей и показатели эффективности детоксикации ими почвы, загрязнённой атразином

Раз- мер зе- рен, мм	Сушка		Пиролиз			Активация			Эф- фек- тив- ность, %
	темпера- тура, °C	вре- мя, часы	скорость нагрева, °C/мин	температу- ра, °C	время выдержк- и, мин	удель- ный расход пара, кг/кг	тем- пера- тура, °C	обгар, %	
~9	100	1	15	450	20	3	870	50	210
~7	115	1,5	11	475	25	4	885	58	260
~5	120	2	8	500	30	5	900	70	300

Как отмечено в работе [62], анализ патентной литературы по вопросам детоксикации почв, загрязнённых ядохимикатами, позволил выявить прототип [488]. - активный уголь, полученный из соломы зерновой пшеницы и обеспечивающий эффективность детоксикации почвы, загрязнённой гербицидом атразин, составляющую 54 %, что послужило основанием для обращения в ФИПС с заявлением о выдаче патента на предполагаемое изобретение. По результатам рассмотрения обращения получен патент РФ на изобретение [489].

4.3.6. Новый носитель для перорального дозирования бифидобактерий

К одному из основных родов бактерий, составляющих микробиоту желудочно-кишечного тракта млекопитающих, принадлежат бифидобактерии [491]. - группа молочнокислых бактерий, содержащихся, например, в кефире, йогурте и различных сырах и входящих в микробиом человека (совокупность всех видов микроорганизмов, населяющих человека), подразделяемый медиками на «здоровый» и «дисбиотический». При дисбиозе снижается разнообразие микроорганизмов и нарушается соотношение полезных и вредных микробов, что негативно отражается на здоровье человека. Необходимую коррекцию осуществляют, в частности, путём перорального дозирования бифидобактерий на нейтральных носителях.

Исследованиями, выполненными в содружестве с лабораторией активных углей ЭНПО «Неорганика», экспериментально установлено, что порошковые активные угли парогазовой активации с массовым количеством фракции 50-80 мкм

не менее 80 %, полученные из скорлупы кокосовых орехов Мьянмы, наряду с таковыми на базе косточек персика и абрикоса имеют минимальное содержание остаточных канцерогенных веществ, что благоприятно сказывается на их совместимости с бифидобактериями, адсорбционная способность по которым для угля на основе СКО составляет $1,0 \times 10^5$ колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 мг.

Таблица 55 - Условия подготовки активного угля полученных из скорлупы кокосовых орехов (СКО) с массой 1 кг сырья.

Условия	Ед.	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Подъём температура	°С/мин	3	8	5
Конечная температура карбонизации.	°С	450	550	500
Изотермическая выдержка карбонизации	мин.	20-25	20-25	25
Фракция карбонизата.	мм	1-3	1-3	1-3
Конечная температура активации.	°С	820	850	835
Изотермическая выдержка активации	мин.	-	-	-
Расход пара.	кг/кг	6-8	6-8	7-10
Обгар.	%	до 30	до 45	до 38
Степени удаления хлороформа от водного раствора.	%	99,2	99,4	99,6
Степени удаления хлорфенола от водного раствора .	%	97,6	98,0	98,4

Исследования показали, что активный уголь из СКО , полученный по прототипу (патент РФ №2222496), в аналогичных условиях контакта фаз обеспечивает остаточное содержание хлороформа - 0,10 мг/л, а хлорфенолов - 0,22 мг/л, то есть его эффективность при очистке воды от этих загрязняющих веществ составляет 98,0 и 95,6 % для хлороформа и хлорфенолов соответственно, что в среднем в 3,3 раза в случае хлороформа и в 2,2 раза в случае хлорфенолов хуже согласно величинам их остаточных концентраций, чем при использовании активного угля, полученного по предлагаемому способу.

Поиском патентной информации выявлен древесный активный уголь типа БАУ, адсорбционная активность которого по бифидобактериям согласно [491] оценена величиной $1,0 \times 10^3$ КОЕ/мг, что существенно ниже указанной выше величины для угля, полученного из СКО. Наряду с этим содержание золы в названных выше активных углях (3-5 %) в разы ниже такового угля БАУ (10 %), концентрация пиридина (до 2,5 мкг/кг) столь же меньше таковой названного древесного угля (12 мкг/кг). Эти обстоятельства обусловили целесообразность обращения в ФИПСРФ с заявкой на предполагаемое изобретение, по итогам рассмотрения которой получен патент [493].

4.4. Некоторые возможности получения других углеродных адсорбентов из использованных отходов

Парогазовая активация карбонизированных продуктов пиролиза сырья – не единственная возможность его использования для получения углеродных адсорбентов [107, 114, 116, 400]. В связи с этим ниже охарактеризованы некоторые иные исследованные приёмы обеспечения данной цели на базе использованных растительных отходов.

4.4.1. Переработка рисовой шелухи с получением ряда товарных продуктов

Вряде публикаций [281, 423, 491, 492] указано на возможность переработки РШ в ряд товарных продуктов (диоксид кремния высокой чистоты, жидкое стекло) с одновременным получением активного угля. Целесообразность и эффективность такого направления использования РШ, доставленной из Мьянмы, экспериментально оценены с учетом рекомендаций и сведений работ [98, 250, 251].

С названной целью представительный образец РШ в воздушно сухом состоянии подвергнут пиролизу при интенсивности нагревания $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ без последующей изотермической выдержки. Ряд показателей полученного целевого продукта охарактеризован в таблице 56.

Таблица 56 - Адсорбционно-технические свойства продукта пиролиза рисовой шелухи

Объект	Показатель						
	Выход, %	V_{Σ} , $\text{см}^3/\text{г}$	Величина V_s , ($\text{см}^3/\text{г}$) по парам			Поглощение, мг/г	
			H_2O	CCl_4	C_6H_6	I	МГ
Карбонизат РШ	~50	1,00	0,08	0,02	0,09	68	160

Для установления эффективности химической активации с ZnCl_2 углеродсодержащей части карбонизата, обоснование рациональных условий получения и некоторые другие показатели которого охарактеризованы в работах [317, 376, 448] его порошок массой 10 г был обработан в снабжённом крышкой стакане с целью удаления кремния 100 см^3 раствора NaOH концентрацией $3,67 \text{ г/см}^3$ при $80-90^\circ\text{C}$ и непрерывном перемешивании ($\text{Re}_m = 4250$) в течение трех часов для обеспечения максимального модуля получаемого жидкого стекла. Результирующую этот процесс суспензию освобождали от дисперсных углеродных частиц фильтрованием на стеклянном или бумажном фильтре. В сепарированный раствор вводили 0,1 н раствор H_2SO_4 дозой 0,1 мл на 100 мл для обеспечения формирования осадка диоксида кремния, после чего раствор выпаривали, а результирующий выпаривание твёрдый остаток сушили при 100°C до постоянной массы. В результате с массовым выходом по кремнию 18 % получен белый аморфный порошок SiO_2 чистотой 98 %, характеризуемый гравиметрической плотностью $1,2 \text{ г/см}^3$.

Скопившийся на фильтре углеродный продукт отмывали на нем от остатков силикатного раствора, после чего сушили до постоянной массы и в виде отдельных порошковых порций пропитывали раствором хлорида цинка, обеспечивая различные его отношения к науглероженному остатку карбонизата С. Частицы последнего отделяли от избытка раствора, сушили до постоянной массы и подвергали пиролизу с интенсивностью нагревания $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ до 650°C . Ряд показателей полученных в этих условиях активных углей характеризуют данные таблицы 57.

Таблица 57 - Технические характеристики полученных активных углей

Отношение $ZnCl_2:C$	Выход, %	V_{Σ} , cm^3/g	Величина V_s , (cm^3/g) по парам			Поглощение, mg/g	
			H_2O	CCl_4	C_6H_6	I	МГ
0,75:1	25	1,00	0,06	0,21	0,25	635	351
1:1	25	1,02	0,07	0,22	0,28	635	340
2:1	21	1,00	0,09	0,20	0,28	401	90
3:1	21	1,02	0,05	0,14	0,28	250	15

Представленные в таблице 56 результаты указывают на целесообразность использования отношения $ZnCl_2 : C = 1:1$. Влияние длительности изотермической выдержки при 650 °С такой сырьевой композиции на характеризующие показатели активных углей отражает информация таблицы 58.

Таблица 58 - Характер изменения технических характеристик активных углей в зависимости от длительности изотермической выдержки сырьевой композиции при 650 °С

Длительность выдержки, мин	Выход, %	V_{Σ} , cm^3/g	Величина V_s , (cm^3/g) по парам			Поглощение, mg/g	
			H_2O	CCl_4	C_6H_6	I	МГ
0	25	1,00	0,06	0,21	0,25	635	352
30	26	1,01	0,16	0,22	0,28	635	340
60	20	0,92	0,22	0,09	0,14	698	45
180	18	0,74	0,14	0,11	0,15	635	22

Анализ приведённой в таблице 58 информации указывает на малую целесообразность использования изотермической обработки характеризующей сырьевой композиции. Сопоставление показателей таблиц 58 и 33 приводит к заключению, что активный уголь изученной химической активации по сравнению с углеродкремнеземным адсорбентом имеет существенно более высокие показатели V_{Σ} и V_s по парам CCl_4 и C_6H_6 , но несколько меньшие величины поглощения I и МГ. Таким образом, основное преимущество данного приёма химической активации

состоит в более рациональном использовании РШ, обеспечивающем возможность получения названной дополнительной товарной продукции.

4.4.2. Модифицирование активного угля паровой активации на базе древесины железного дерева

Изменение электрохимических свойств поверхности углеродных адсорбентов принципиально возможно двумя путями [494]: наложением внешнего потенциала или модифицированием до необходимой степени различными группировками с тем, чтобы потенциал приобрёл определённую величину [494, 495]. Термообработка активных углей, импрегнированных доступными и сравнительно дешёвыми азотсодержащими модификаторами, не ухудшающая их качество, также может быть использована. Например, модифицирование мочевиной, тиомочевиной и роданидом аммония не приводит к значительному изменению объёма сорбирующих пор этих поглотителей [496].

Результаты пиролиза активного угля, полученного из древесины ЖД и пропитанного названными веществами с обеспечением 5 %-ного содержания азота, в условиях интенсивности нагревания 5 °С/мин до 600 °С и последующей 30-минутной изотермической выдержки характеризуют данные таблицы 59.

Таблица 59 - Итоги пиролиза модифицированных активных углей

Модификатор	V_{Σ} , см ³ /г	$V_{\text{NH}_2\text{O}}$, см ³ /г	$V_{\text{SC}_6\text{H}_6}$, см ³ /г	V_{SCCl_4} , см ³ /г	I, мг/г	МГ, мг/г	Выход, %	Величина COE, мг-экв/г	
								COE _(K)	COE _(A)
*	1,57	0,13	0,78	0,67	981	250	40,4 ^a	0	1,24
Мочевина	1,59	0,11	0,75	0,68	970	269	94,0 ^b	0,96	3,2
Тиомочевина	1,61	0,15	0,71	0,71	940	234	97,3 ^b	2,68	0,97
Роданид аммония	1,65	0,14	0,69	0,65	933	240	99,0 ^b	1,15	1,54

* без добавления модификатора, а - выход от карбонизата, b – выход от загруженного активного угля

Данные таблицы 59 позволяют констатировать, что модифицирование активного угля тиомочевинной и последующий пиролиз импрегната обеспечивают изменение ионообменных свойств целевого продукта и практическую сохранность его охарактеризованных показателей на уровне таковых исходного материала. При этом использование именно тиомочевины является наиболее результативным с позиций увеличения катионообменной способности.

Охарактеризованные факты существенно сказываются на прикладных свойствах модифицированного тиомочевинной активного угля (МАУ). Так, в частности, приведённый ниже рисунок 42 демонстрирует результаты контакта твёрдой и жидкой фаз в идентичных условиях для активного угля паровой активации, для продукта его модифицирования и для коммерческого активного угля российского производства марки БАУ, свидетельствующие о несомненном преимуществе использования модифицированного угля.

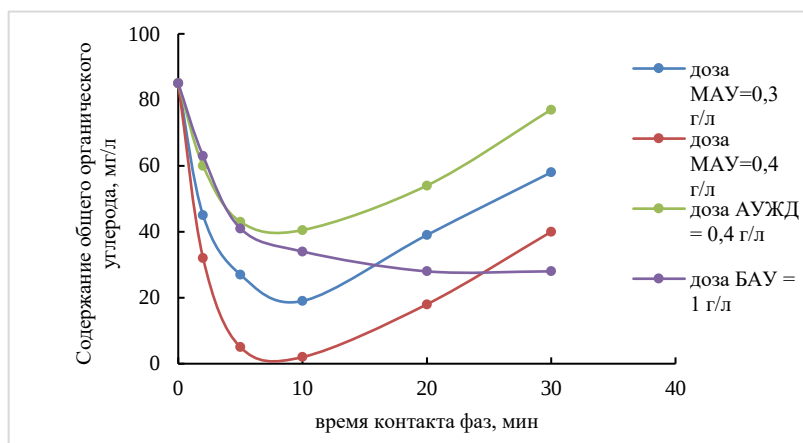


Рисунок 42 - Кинетика очистки при 20 °C стока АО «Москок»

немодифицированным и модифицированным тиомочевинной активными углями на основе древесины ЖД и активным углём БАУ

Модифицирование открывает также возможность использования характеризуемого угля для извлечения из сточных вод ионов тяжёлых металлов, результативность которого согласно данным рисунка 43 сравнительно низка.

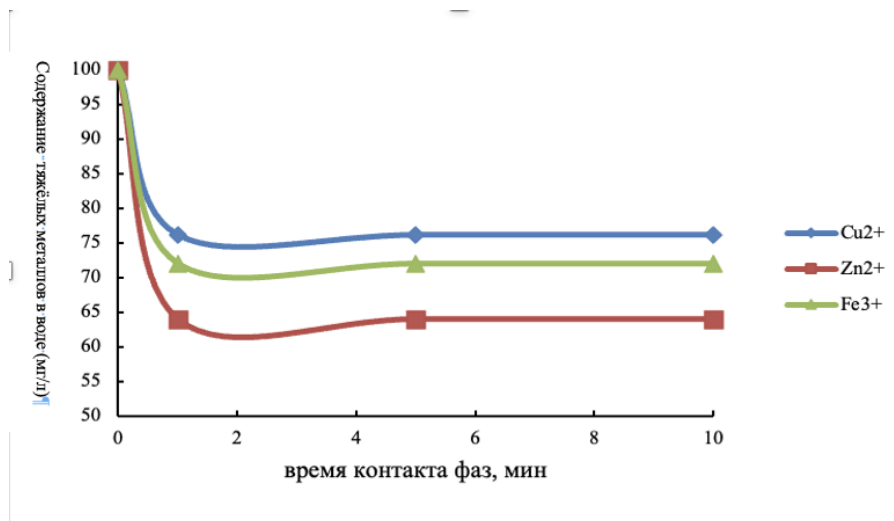


Рисунок 43 - Кинетики адсорбции при 20 °С ИТМ из их индивидуальных растворов фракцией МАУ 0,1–0,2 мм дозой 0,3 г/л при перемешивании ($\text{Re}_m = 2625$)

Данные рисунка 41 свидетельствуют о весьма быстрой (практически линейной) кинетике ионообменной фиксации использованных катионов, завершающейся в пределах полутора-двух мин. При этом максимально извлечение ионов Zn^{2+} , хотя и не превышающее ~37 % при однократном контакте фаз. Ещё меньше глубина извлечения ионов Fe^{3+} (~29 %) и Cu^{2+} (~25 %).

4.4.3. Переработка путём химической активации оболочек семян манго

Активный уголь паровой активации на базе ОСМ имеет сравнительно низкую величину анионообменной статической емкости ($\text{COE}_a = 1,58$ мг-экв/г) при отсутствии способности к катионному обмену. Наряду с этим опубликованные данные [213, 214, 482] свидетельствуют оцелесообразности химической активации ОСМ с целью удаления из различных стоков загрязняющей их органики и, особенно ионов тяжёлых металлов [215].

С учётом этих обстоятельств в работе в сопоставимых условиях, свойственных одному из режимов паровой активации продукта пиролиза ОСМ, выполнена серия экспериментов с использованием ряда агентов, широко используемых в практике химической активации. Ее результаты отражают данные таблицы 60.

Таблица 60 - Технические характеристики активных углей химической активации, полученных при интенсивности нагрева 15 °С/мин до 800 °С без изотермической выдержки при массовом отношении сырье : активатор= 1:2

Активатор	$V_{\text{H}_2\text{O}}$, см ³ /г	V_{CCl_4} , см ³ /г	$V_{\text{C}_6\text{H}_6}$, см ³ /г	МГ, мг/г	I, %	V_{Σ} , см ³ /г	Выход, %
ZnCl ₂	0,11	0,12	0,19	21,53	57,95	0,99	35,0
KOH	0,09	0,05	0,13	22,08	53,02	1,77	16,0
Na ₂ CO ₃	0,13	0,02	0,04	9,40	21,17	1,67	23,5

Данные таблицы 60 указывают на рациональность химической активация данного сырья с хлоридом цинка. При обосновании ее рациональных условий выполнена серия экспериментов, результаты которой привели к уточнению условий обработки сырьевой композиции: массовое отношение в ней активатора к сырью равно 3:1, интенсивность нагрева 15 °С/мин, предельная температура 800 °С и длительность изотермической выдержки при ней 30 мин. Техническими показателями активного угля хлорцинковой активации, полученного в данных условиях пиролиза, являются (в скобках указаны показатели для угля паровой активации): выход 33,4 (12,4) %; величины V_{Σ} , V_s по парам H₂O, CCl₄ и C₆H₆ составляют 1,01 (1,25), 0,32 (0,16), 0,34 (0,31) и 0,35 (0,31) см³/г, соответственно; значения поглощения I и МГ – 97,4 % (1058 мг/г) и 145 (109) мг/г; влажность 0,2 (2,05) %, зольность 8,5 (8,7) %, преобладающая фракция 5-10 (3-5) мм, насыпная масса 0,22 (0,11) г/см³, прочность при истирании 96,9 (66,8) %. Таким образом, сопоставленные показатели определённо указывают на несомненные преимущества угля химической активации, как адсорбента. В пользу этого заключения свидетельствуют также данные о низкотемпературной адсорбции азота сопоставленными активными углями, о трансформации их ионообменных свойств, значительном росте поглотительной способности по парам н-бутанола и эффективности извлечения ИТМ из их растворов [62, 273, 356, 360, 498].

4.4.4. К оценке целесообразности химической активации скорлупы косточек

СЛИВЫ

Значительный ряд публикаций свидетельствует об эффективности переработки косточкового сырья в активные угли методами химической активации [76, 220, 337, 499–503]. Целесообразность использования данного приёма оценена с привлечением ряда наиболее употребляемых средств химической активации при их массовом отношении к сырью 1:1 в охарактеризованных выше (таблица 16) рациональных условиях пиролиза СКС. Полученные результаты отражают данные таблицы 61.

Таблица 61 - Технические характеристики активных углей химической активации на базе СКС (интенсивность нагревания 15 °С/мин до 600 °С, длительность изотермической выдержки 10 мин)

Агент активации	Выход, %	V_{Σ} , см ³ /г	Поглощение, мг/г		V_s , см ³ /г, по парам:		
			МГ	I	H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆
ZnCl ₂	40,0	0,62	8,09	10,16	0,098	0,020	0,091
NaOH	40,0	1,03	10,78	33,02	0,093	0,045	0,119
H ₃ PO ₄	35,5	0,50	30,54	22,86	0,083	0,019	0,107
H ₂ SO ₄	35,0	1,20	12,60	17,78	0,066	0,048	0,119
K ₂ CO ₃	36	1,57	14,37	16,51	0,078	0,044	0,064
Na ₂ CO ₃	32,2	0,68	26,94	67,31	0,110	0,012	0,115
Na ₂ CO ₃ *	27,5	1,20	25,15	35,56	0,094	0,054	0,140
Na ₂ CO ₃ **	27,3	0,99	26,95	36,83	0,103	0,006	0,178

Длительность изотермической выдержки 60* и 120** мин

Данные таблицы 61 указывают на максимальную целесообразность использования среди исследованных агентов Na₂CO₃. Полученный из такой композиции активный уголь имеет 0,23 % влаги и 5,5 % золы, его насыпная плотность 0,25 кг/дм³, а прочность при истирании 96 %. Вместе с этим лишь показатели его выхода и прочности при истирании превышают таковые активного угля паровой активации (таблицы 30 и 33). Эти обстоятельства исключают целесообразность химической активации СКС с использованием Na₂CO₃, по крайней мере, в

охарактеризованных выше условиях. Наряду с этим данная активация приводит к появлению у ее целевого продукта некоторой катионообменной способности [381, 487], обуславливающей извлечение им ИТМ (Zn^{2+} , Fe^{3+} и Cu^{2+}) в близких условиях контакта фаз с аналогичной быстрой кинетикой, но несколько меньшей глубиной извлечения, чем для охарактеризованного выше МАУ на основе древесины ЖД.

4.5. Техничко-экономическое обоснование разработанных технологий

С целью сопоставления полученных в работе данных базовая производительность получаемых из использованных отходов активных углей принята равной 30 т в год. Основной и наиболее дорогостоящий агрегат для всех технологий – роторная печь косвенного нагрева выбран, исходя из наиболее низкой насыпной плотности фрагментов кожуры плодов тамаринда, что обеспечивает возможность переработки с её использованием всех иных отходов.

4.5.1. Предпосылки организации производства

Природно-климатические и географические условия Мьянмы (температура воздуха 28–35 °С, наличие множества источников пресной воды и свободных от застройки земельных участков) потенциально способствуют организации производства активных углей с минимальными затратами, учитывая широкую доступность и низкую затратность доставки растительных отходов наряду с возможностью возведения лёгких строений для размещения оборудования. Другими аргументами в пользу планируемых к организации производств активных углей, ориентированных на развитие экономики Мьянмы, являются низкий спрос в ряде районов на планируемые к использованию отходы, простота производства вспомогательного и доступность и умеренная стоимость закупаемого оборудования, возможность использования недорогих источников топлива, целесообразность создания первой в стране собственной государственной производственной площадки, обеспечивающей переработку местных растительных отходов в углеродные адсорбенты.

Учитывая отмеченную выше сравнительно низкую производительность установки по производству активных углей и дефицит квалифицированного обслуживающего персонала, целесообразно принять ее ежедневную эксплуатацию в течение 8 часов, что, естественно, существенно увеличивает себестоимость производства.

4.5.2. Особенности предполагаемой реализации разработанной технологии

Практическая реализация технологии переработки любого из использованных видов отходов в активные угли требует собственного аппаратного оформления (см. примеры на рисунках 44 и 45) и однотипных расчётов, охарактеризованных ниже на примере сырья в виде фрагментов кожуры плодов тамаринда (рисунок 44).

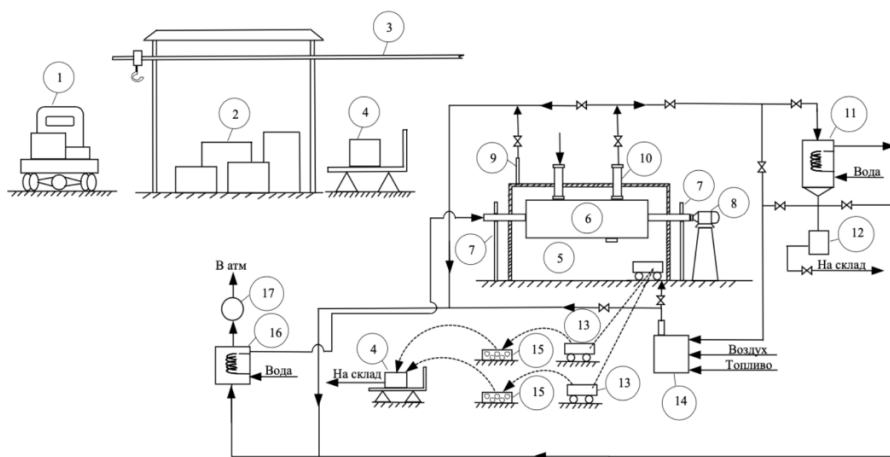


Рисунок 44 - Аппаратурно-технологическая схема производства зернёных активных углей из скорлупы косточек сливы:

1 – доставка сырья; 2 – крытый склад; 3 – монорельс с тельферной лебёдкой; 4 – весы; 5 – печь; 6 – реторта с люками и клапанами; 7 – цапфы реторты; 8 – привод вращения реторты; 9 – штуцер дымохода; 10 – съёмный штуцер газов термической деструкции сырья; 11 – конденсатор; 12 – ёмкость сбора конденсата; 13 – передвижная герметичная ёмкость с крышкой; 14 – топка; 15 – ёмкость-охладитель; 16 – котёл-утилизатор

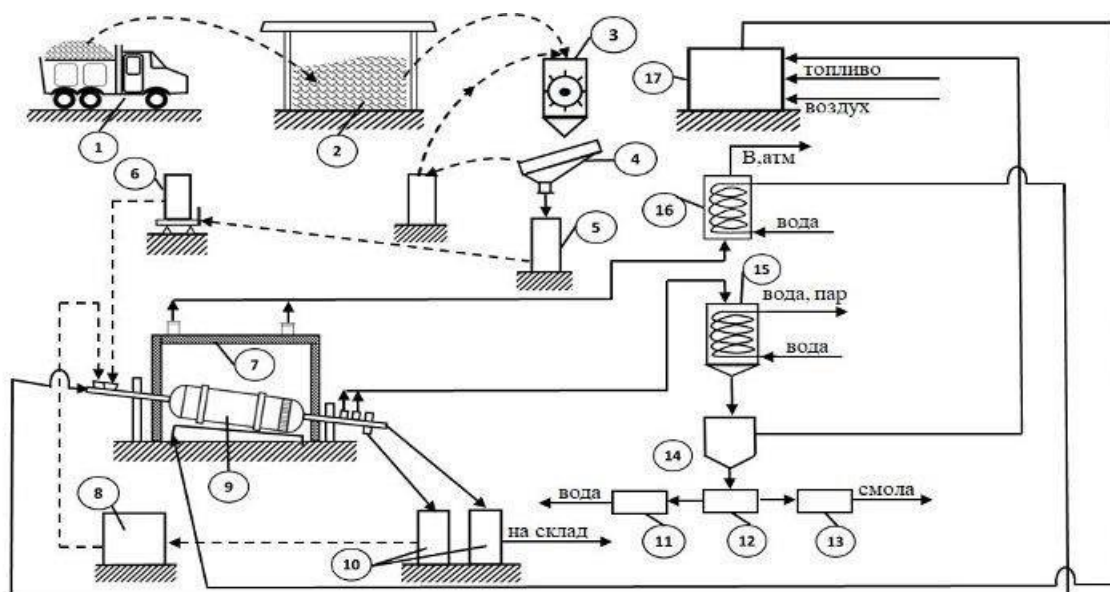


Рисунок 46 - Принципиальная аппаратура и технологическая схема переработки кожуры плодов тамаринда в активные угли с использованием методов пиролиза и активации карбонизата водяным паром:

1 – автотранспортная доставка и разгрузка КПТ; 2 – накопление и временное хранение КПТ под навесом; 3 – дробилка молотковая; 4 – грохочение продукта измельчения с получением заданной фракции; 5 – накопление отсева с возвратом на грохоченный и заданной фракции с передачей ее на пиролиз; 6 – взвешивание сырья; 7 – печь с вертикальной перегородкой для раздельного размещения агрегатов (реторт) пиролиза и активации; накопитель остывшего карбонизата; 9 – агрегат пиролиза (активации); 10 – стальные герметичные емкости для охлаждения горячего карбонизата (активного угля); 11 – ёмкость над смольной воды; 12 – отстойник-расслаиватель; 13 – ёмкость для смолы; 14 – сепаратор конденсата; 15 – теплообменник для конденсации летучих продуктов пиролиза; 16 – получение водяного пара в котле-утилизаторе; 17 - топка для сжигания (топлива, летучих продуктов пиролиза) и обезвреживание летучих продуктов активации с получением греющих дымовых газов

В соответствии со схемой рисунка 46 доставленное автомобильным или другим транспортом сырье 1 разгружают и размещают под навесом 2, обеспечивая его технологический запас на территории производственной площадки. По мере необходимости кожуру плодов тамаринда подвергают измельчению в устройстве 3

ножевого типа [47]. Продукт измельчения подвергают рассеву на грохоте 4 с получением товарной фракции 5 и отсева, возвращаемого на повторное измельчение. Сырье товарной фракции после взвешивания на технических весах 6 в необходимом количестве через загрузочное устройство и полую цапфу загружают с целью пиролиза в снабжённую опорными бандажами, фундаментом и зубчатым венцовым приводом барабанную вращаемую реторту 9, расположенную в изолированной вертикальной перегородкой (стеной) секции печи 7 (ее электрический привод на рисунке 38 не обозначен). По завершении операции целевой продукт пиролиза (карбонизат) выгружают из реторты через полую цапфу в герметично изолируемые стальные емкости 10, содержимое которых после остывания пересыпают с целью накопления и временного хранения в ёмкость 8. Из этой емкости карбонизат после взвешивания на весах 6 направляют в аналогичную реторту, расположенную в другой секции печи 7, с целью его активации водяным паром, который вводят в реторту также через полую цапфу. Летучие продукты этой операции через теплообменник 15 направляют на обезвреживание в топку 17. Целевой продукт – активный уголь аккумулируют, как и карбонизат, в ёмкостях 10, которые после остывания угля опорожняют на складе в соответствующие негерметичные емкости перед затариванием (фасовкой) для отправки потребителям.

Для обогрева печи используют горячие дымовые газы, направляемые в печь из топки 17. С целью использования теплового потенциала отработанных дымовых газов перед их выбросом в атмосферу предусмотрен котёл-утилизатор 16, обеспечивающий возможность получения горячей воды и/или водяного пара. При необходимости получения из парогазов пиролиза конденсата предусмотрен охлаждаемый водой теплообменник 15, оснащённый сепаратором 14 газовой и жидкой фаз, ёмкостью-накопителем 12, выполняющей функцию расслаивания водной и органической составляющих конденсата, и ёмкостями 11 и 13 для аккумулирования последних. [47].

4.5.3. Технико-экономическое обоснование периодического процесса переработки фрагментов кожуры плодов тамаринда на активные угли

С целью выполнения расчётов в соответствии с данными работ [506, 508] исходим из 265 рабочих дней в году и информации, изложенной в разделах 3.1., 3.3. и 4.5.2.

При ориентировочной оценке принимаем, что для получения 30 т в год активного угля с массовым выходом от сырья $\sim 21,2$ % необходимо $(30 \cdot 100) : 21,2 = 141,5$ или ~ 142 т фрагментов воздушно сухой КПТ, что обеспечит получение $142 \cdot 46 : 100 = \sim 65,32$ т карбонизированного продукта пиролиза. Производство такой сравнительно небольшой массы целевого продукта целесообразно ориентировать на режим, выражающийся в последовательном получении в течение (5) 254 дней продукта пиролиза сырья и (1) 15 дней активации продукта пиролиза, а также на использование термического агрегата, обеспечивающего возможность проведения операции как пиролиза сырья, так и активации его науглероженного остатка. Следовательно, за один рабочий день необходимо переработать $145 : 265 = 0,547$ т или 547 кг КПТ с получением $(46,9 : 265 = 0,177$ т или 177 кг) карбонизированного продукта. В такой же период необходимо перерабатывать примерно 3 т карбонизата.

С учётом целесообразности снижения капитальных затрат при реализации периодически действующего (в плане эксплуатации основного термического агрегата) производства небольшой мощности целесообразно использовать в установке только один, наиболее дорогостоящий агрегат — трубчатую печь косвенного нагрева.

4.5.4. Оценка объёмов перерабатываемых материалов и основного оборудования

Масса единовременной загрузки в печь КПТ составляет 273,5 кг. С учётом насыпной плотности сырья (250 кг/м^3) объём разовой загрузки составляет $273,5 / 250 = 1,094$ (или 1,1) м^3 . Требуемый объём пространства рабочей реторты печи при степени заполнения 35 % должен составлять $[1,094 (1,1) \times 100] / 35 = 3,13 \text{ м}^3$. Сечение наиболее подходящей трубы внутренней реторты печи с толщиной стенки 10 мм и

внутренним диаметром 820 мм определяем по формуле $(3,14 \times 0,832) / 4 = 0,54 \text{ м}^2$. Таким образом, необходимая длина реторты L равна $3,13 / 0,54 = 5,8 \text{ м}$ или примерно 6 м. Наружный диаметр трубы корпуса печи в таком случае должен быть равен 920 мм, а толщина его стенки составляет 8 мм. Соответственно, зазор между стенками обеих реторт составляет $(920 - 16 - 830) / 2 = 37 \text{ мм}$. Используемые здесь диаметры труб приняты по [513]. Трубы таких размеров, в частности, используют российские предприятия при изготовлении вращающихся печей косвенного нагрева [506].

Оценка стоимости изготовления барабанной печи указанных размеров в условиях Республики Союз Мьянма в силу отсутствия необходимой информации не представляется возможной. На российском рынке печи косвенного нагрева подобных размеров производства, например, ОАО «Завод «Тульские машины» или завода «Строммашина» (г. Самара), стоят порядка 69300–83160 долларов США .[514 - 517].

Результатом ежедневного пиролиза КПТ является получение $273,5 \times 2 \times 0,460 = 251,16 \text{ кг}$ карбонизированного продукта объемом $0,2512 \cdot 0,138 = 0,035 = 0,04 \text{ м}^3$ (при насыпной плотности $0,138 \text{ т/м}^3$). Занятый карбонизатор с целью активации объем печи максимально равен $1,094 \times 0,35 = 0,383 \text{ м}^3$. Это означает, что при активации одна загрузка печи вмещает продукт $0,383 / 0,04 = 9,57$, то есть 10 операций пиролиза (следовательно, необходимы 2 рабочих дня эксплуатации установки в режиме пиролиза) [506].

На стадии активации каждая операция в холодной печи требует её загрузки (0,5 часа), разогрева и обработки сырья в течение 50 минут, а также разгрузки печи, занимающей ещё 0,5 часа, то есть всего 1 час 50 минут. Следовательно, в течение рабочего дня в условиях 3 смены эксплуатации производства можно выполнить лишь 10 операций активации, перерабатывая карбонизат 30 операций, то есть 6 дней пиролиза. Из этого следует, что на 6 рабочих дней функционирования установки в режиме пиролиза КПТ необходим 1 день ее работы с целью активации карбонизата КПТ, то есть в сумме этот ансамбль занимает 7 дней. Таких пар в течение года должно быть $265 / 7 = 38$. Следовательно, число дней пиролиза за 1 год $= 38 \cdot 6 = 228$ (число операций 1140), а активации – 38 (число операций 114).

Для уточнённой оценки размеров печи принимаем число дней/операций пиролиза в год 228/1140. За каждую операцию пиролиза нужно переработать $142000/1140 = 124,6$ кг или $0,707$ м³ КПТ.

Требуемый объем рабочего пространства печи пиролиза при степени заполнения материалом 35/40 % - $(0,707 \cdot 100)/(35/40) = 2,02/1,78$ м³. При указанном выше сечении трубчатой реторты (с $D_{\text{вн}} = 820$ мм) его площадь составляет $0,54$ м², а необходимая длина $L = (2,02/1,78)/0,54 = 3,7/3,3$ м. Это означает, что задача пиролиза ~937,7 кг в сутки КПТ может быть решена с использованием печи косвенного нагрева указанных выше габаритов кожуха и реторты при степени заполнения последней материалом ~39,7 % [506].

При внутреннем объеме реторты охарактеризованной выше печи косвенного нагрева $3,3$ м³ карбонизат КПТ насыпной массой 138 кг/м³ и объемом $[(937,7 \cdot 0,212):138] \cdot 6 = 8,6$ м³, накопленный в течение 6 суток, необходимо активировать за 3 часа в 4 приёма. Решение такой задачи в охарактеризованном выше режиме активации возможно при обеспечении степени заполнения рабочего пространства названной печи карбонизатом КПТ на $((8,6/4) / 3,3) \times 100 = 65,15$ или ~65 %. Суммарный выход активного угля составляет при этом $937,7$ кг·6 дней·21,2 % = $1192,75$ кг: 109 кг/м³= $10,94$ м³ (где 109 кг/м³ – насыпная плотность получаемого активного угля). Для охлаждения полученного горячего активного угля с целью исключения его возгорания необходима аналогичная по устройству охарактеризованной выше герметичная ёмкость. Остывший активный уголь может быть перемещён в любые подходящие емкости с целью доставки на операции его последующего обеспыливания и затаривания (фасовки) [506].

4.5.5. Оценка перерабатываемых жидко- и газофазных потоков и объёмов связанного с ними оборудования

Побочные продукты пиролиза КПТ

Произвольно выделяющиеся из печи на стадии пиролиза пары и газы термической деструкции КПТ подлежат охлаждению в трубчатом теплообменнике-конденсаторе проточной водой.

При пиролизе КПТ за 1 рабочий день образуется $937,7 \cdot 0,362 = 339$ кг конденсата и примерно $937,7 \cdot 0,13 = 121,9$ кг неконденсируемых горючих газов. Последние подлежат обезвреживанию в топке в составе дутьевого воздуха.

4.5.4.1. Водяной пар и продукты активации карбонизата КПТ

Согласно полученным экспериментальным данным, активацию карбонизата КПТ следует проводить при удельном расходе водяного пара 5 кг на 1 кг получаемого активного угля путём нагрева этого материала до $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ с интенсивностью $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ без изотермической выдержки. Процесс активации требует 609,5 кг водяного пара с температурой не менее $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ на каждые 121,9 кг карбонизата КПТ. Для выполнения четырёх операций активации необходимо 2438 кг ($609,5\text{ кг} \times 4$) водяного пара. Таким образом, при общей продолжительности 4-х операций активации в 600 минут необходимая производительность парогенератора должна составлять ~ 4 кг в минуту ($2438\text{ кг} / 600\text{ мин}$). Выходящую из работающей в режиме активации печи парогазовую смесь объединяют с её отходящими дымовыми газами. Тепло объединённого потока используют для производства водяного пара и подогрева дутьевого воздуха, после чего его дымососом эвакуируют в атмосферу.

4.5.4.2. Иное оборудование

Насыпная плотность получаемого карбонизата КПТ составляет $0,138\text{ т}/\text{м}^3$, а суточный объем его производства – $157,97:0,138 = 1,14\text{ м}^3$. Герметичная ёмкость для охлаждения одноразово получаемого карбонизата, снабжённая трубчатыми элементами для охлаждающей воды и коническим днищем с затвором секторного типа, должна иметь рабочий объем, составляющий $0,4\text{ м}^3$. Стоимость двух

необходимых таких ёмкостей составляет $4400 \times 2 = 8800$ рублей (88 US \$, курс 1 US \$ = 100 рублей) [518]. Стоимость контейнера для хранения, получаемого за сутки карбонизата КПТ составляет $15000 \times 2 = 30000$ рублей ~ 300 US \$.

Для охлаждения одноразово получаемого из карбонизата КПТ активного угля необходима охлаждающая ёмкость объёмом ($66,34 \text{ т} \times 1/109 \text{ м}^3 / \text{т} = 0,6 \text{ м}^3$), стоимость которой составляет = 6600 рублей, для необходимых двух ёмкостей она составляет 13200 рублей. Затраты на накопительную ёмкость для аккумуляирования активного угля суточного производства (3 м^3) принимаем равными 45000 рублей (450 US \$).

Для временного (в течение примерно месяца) хранения с целью накопления и стабилизации побочного продукта пиролиза – конденсата плотностью $148,5 \text{ кг/м}^3$ необходима ёмкость объёмом $150 \text{ кг} : 0,99 \text{ кг/м}^3 \cdot 27 \text{ дней} = 4090 \text{ л}$ или $\sim 4 \text{ м}^3$. Стоимость такой емкости (цилиндрический сосуд высотой 2 и диаметром 1,6 м) составляет 109980 рублей (110 US \$) [518].

Для измельчения КПТ целесообразно использование роторной ножевой дробилки типа AMD-600DU [519]. Такая дробилка обеспечивает получение продукта с размером частиц 0,5–10 мм при производительности до 100 кг/час. Ее стоимость составляет примерно 261000 рублей (2610 US \$).

Задачи выделения из продукта дробления КПТ частиц с размером 3–7 мм и обеспыливания целевого продукта могут быть решены с привлечением грохота вибрационного круглого марки «Гр-3» [520]. Такой агрегат обеспечивает производительность до 80 кг/час при крупности материала питания не более 10 мм. На рынке находившихся в эксплуатации грохотов он может быть приобретён примерно за 450000 руб. (4500 US \$)

Для производства водяного пара на характеризуемой установке принципиально можно использовать различные парогенераторы. Производство минимально требуемых 1000 кг в час водяного пара с температурой не менее 100°C требует затрат тепла в размере $1000 \times (100-35) \times 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)} = 273000 \text{ кДж}$ или $273000 \times 0,239 = 65247 \text{ ккал}$ [506].

Такая величина теплоспонобления составляет лишь небольшую долю среднего часового теплового потенциала дымовых газов процесса активации. В соответствии

с данными работы [521] выполненная оценка приводит к величине необходимой поверхности теплообмена, составляющей $20,72 \text{ м}^2$. Последняя может быть обеспечена использованием обычных водопроводных труб длиной 1,6 м и диаметром 1 дюйм в количестве 440 штук стоимостью (при цене 262,5 руб. за п.м.) 185220 руб. Корпус парогенератора может быть выполнен в виде снабжённой пучком названных труб емкости сечением $1,7 \times 1,7 \text{ м}$ и высотой 1,8 м. Его ориентировочная стоимость (при изготовлении из листовой стали 3 плотностью 7850 кг/м^3 и толщиной 2 мм) составляет 72833 руб. Следовательно, общая стоимость парогенератора близка $185220 + 72833 = 258053$ рублей (2580 US \$).

Для запуска топочного устройства с целью производства энергоносителя в виде горячих дымовых газов на планируемой к реализации установке целесообразно использование дизельного топлива [522]. Для проведения этого процесса рационально создание из огнеупорного кирпича стационарного топочного устройства с камерой-дожигателем топочных газов. Ориентировочная стоимость такого устройства составляет 35000 рублей. (350 US\$)

Сооружение сырьевого бункера для приёма и временного хранения сырья не требует существенных затрат, так как может быть выполнено в виде находящейся под навесом бетонированной или асфальтированной площадки с бортами из подручных материалов (доски, ветки, брезент и т.п.) [506].

Стоимость ленточного транспортёра, необходимого на производстве, зависит от длины механизма. Так, например, при длине последнего 3, 5 и 10 м стоимость составляет 219 900, 274 900 и 399 900 рублей (8947 US \$) соответственно [523]. При сравнительно же небольших массах, подлежащих перемещению сырья и материалов в характеризуемой технологии и наличии в стране дешёвой рабочей силы целесообразность приобретения, использования и обслуживания данного оборудования не очевидна.

Оборудование для перемещения газовых потоков на установке представлено воздуходувкой–вентилятором дутьевого воздуха (производительность должна составлять около $2340 \text{ м}^3/\text{ч}$ при пиролизе и около $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$ при активации), вентилятором-газодувкой (производительностью около $55 \text{ м}^3/\text{ч}$), дымососом для

эвакуации дымовых газов производительностью при пиролизе ($10,474 \text{ м}^3/\text{кг} \times 641,58 \text{ кг} : 2,17 \text{ ч}$) $\times 1023 : 273 = 11604,24 \text{ м}^3/\text{ч}$, при активации – ($10,474 \text{ м}^3/\text{кг} \times 441 \text{ кг} : 3 \text{ ч}$) $\times 1540 : 273 = 6617 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Исходя из этих данных, рационально использовать в качестве воздуходувки центробежный вентилятор высокого давления, например, таковой марки HRD 65 производств компании «Elektrotor» [524]. Производительность такого агрегата достигает $3720 \text{ м}^3/\text{час}$, что может обеспечить питание топки как воздухом в количестве $2340 \text{ м}^3/\text{час}$, так и неконденсируемыми газами пиролиза КПТ в количестве $55 \text{ м}^3/\text{час}$. Стоимость его составляет 295750 руб. или 2957,5 US \$ при курсе 1 US \$ = 100 руб., потребляемая мощность – 11 кВт.

Промышленные вентиляторы-дымососы предназначены для перемещения дымовых газов с температурами не выше $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Это обстоятельство в условиях эксплуатации характеризуемой установки производства активного угля из КПТ, когда необходимо эвакуировать до $9750 \text{ м}^3/\text{час}$ дымовых газов, имеющих весьма высокие температуры (порядка $700\text{--}900 \text{ }^{\circ}\text{C}$), обуславливает обязательность их разбавления атмосферным воздухом и выбора в этой связи дымососа с существенно большей производительностью. Роль такого агрегата может выполнять дымосос ДН-9 [525]. Его производительность составляет $14800 \text{ м}^3/\text{час}$, цена – 223151 руб. (2232 US\$), электродвигатель имеет мощность 15 кВт [506].

Теплообменники. Помимо охарактеризованных выше устройств для охлаждения карбонизата и активного угля, а также генератора пара для нужд реализуемой технологии, установка должна быть оснащена конденсатором парогазовых продуктов пиролитического разложения КПТ и теплообменником для нагревания теплом дымовых газов, нагнетаемых в топку воздуха и неконденсируемых газов пиролиза сырья.

Теплообменник-конденсатор. Согласно охарактеризованной выше информации, суточный выход конденсата при пиролизе КПТ составляет 900 кг, а неконденсируемых газов – 731,4 кг. Основываясь на данных таблицы 27, принимаем, что 65 % по объёму в конденсате составляют углеводороды, подобные асфальтёнам – наиболее высокомолекулярным компонентам нефти, представляющим собой

твёрдые хрупкие вещества чёрного или бурого цвета плотностью около $1,3 \text{ г/см}^3$, размягчающиеся в инертной атмосфере при $200\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C}$ с переходом в пластичное состояние. Допускаем также с большой долей условности, что в соответствии с таблицей 38 лишь 25 % неконденсируемых газов представляют негорючие компоненты [506].

Привлекая информацию работы [526], можно констатировать, что величина необходимой поверхности теплообмена должна быть близка $24,9 \text{ м}^2$. Ее можно обеспечить использованием 530 охарактеризованных выше водопроводных труб длиной 1,6 м и диаметром 1 дюйм общей стоимостью 55650 руб. Сам конденсатор может представлять собой аппарат квадратного сечения ($1,7 \times 1,7 \text{ м}$) высотой 1,8 м. Его стоимость (при изготовлении из листовой стали 3 плотностью 7850 кг/м^3 и толщиной 6 мм) ориентировочно составляет 87400 руб. Таким образом, итоговая стоимость конденсатора должна быть близка $55650 + 87400 = 143050 \text{ руб}$ ($1431 \text{ US \$}$).

Теплообменник-подогреватель неконденсируемых газов пиролиза. Неконденсируемые газы перед подачей в топку для обезвреживания и частичной компенсации тепловых затрат требуют нагрева до $200 \text{ }^\circ\text{C}$ дымовыми газами наряду с дутьевым воздухом. Масса неконденсируемых газов составляет $121,9:3 = 40,63 \text{ кг/час}$ горючих веществ с удельной теплоёмкостью $0,4844 \text{ ккал/(кг}\cdot\text{K)}$, как это принято допущениями, охарактеризованными выше (см. Теплообменник-конденсатор). Их температура $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Можно определить, что при н.у. объем горючих веществ составляет $(4063 \times 22,4):731 = 124,5 \text{ л}$ или $0,1245 \text{ м}^3$, при $25 \text{ }^\circ\text{C}$ – $(0,1245 \cdot 298):273 = 0,135 \text{ м}^3/\text{час}$ [506].

Использование данных [526] приводит к ориентировочной величине необходимой поверхности теплообмена, составляющей $1,96 \text{ м}^2$. Последнюю можно обеспечить использованием названных выше водопроводных труб (длиной 1,6 м и диаметром 1 дюйм) в количестве 42 штуки стоимостью 7056 руб. Сам теплообменник может быть выполнен в виде коробчатого корпуса сечением $1,7 \times 1,7 \text{ м}$ и высотой 1,0 м, (изготавливаемого из указанной выше стали), оснащённого внутри пучком названных труб и снабжённого крышками с патрубками для подвода и отвода

греющих дымовых газов. Примерная стоимость такого теплообменника составляет 139000 руб (1390 US\$).

Подогреватель дутьевого воздуха целесообразен для обеспечения подогрева дымовыми газами дутьевого воздуха, нагнетаемого в топку установки. Максимальный объем этого воздуха, согласно выполненным оценкам, необходим на стадии пиролиза КПТ и составляет около 2642 м³/час. Привлечение информации, изложенной в работе [526], позволяет ориентировочно установить величину необходимой поверхности теплообмена – 265 м². Такую поверхность можно обеспечить, используя обычные водопроводные трубы длиной 3,2 м и диаметром 1 дюйм в количестве 4138 штук, смонтировав их в виде пакета высотой 2,65 м. Затраты на трубы составляют 591780 руб. (5917,8 US \$), на листовый металл для изготовления корпуса теплообменника высотой 3,4 м – 121000 руб (1210 US \$). Принимая стоимость изготовления аппарата равной стоимости названных материалов, можно заключить, что его цена близка 1425560 руб (14255,6 US \$) [434].

Для транспортирования неконденсированных газов пиролиза в топку установки может быть использован радиальный (центробежный) вентилятор ВР-280-46-5,0ДУ01 с двигателем мощностью 22 кВт стоимостью 62856 руб. (628,6 US \$) [527].

4.5.4.3. К оценке себестоимости производства

При периодическом режиме работы установки эффективный фонд времени работы оборудования равен номинальному и составляет, как отмечено выше в разделе 4.5.3, 265 дней или 6360 часов. В расчётах в этой связи принято, что планово-предупредительные и прогнозируемые аварийные ремонты оборудования производят в выходные и праздничные дни.

Размещение оборудования установки в климатических условиях Республики Союз Мьянма не требует строительства капитальных зданий. Поэтому в расчёте капитальных затрат учтена лишь стоимость оборудования, охарактеризованного выше в разделе 4.5.4.2., итоговая оценка которой представлена в таблице 62.

Таблица 62 - Стоимостная характеристика основного оборудования установки

Наименование	Количество	Цена за единицу, \$ США.	Общая стоимость, \$ США
1	2	3	4
Печь косвенного нагрева	1 шт.	30000	30000
Топка	1 шт.	350	350
Дробилка	1 шт.	2610	2610
Грохот	1 шт.	4500	4500
Генератор пара	1 шт.	2580	2580
Конденсатор	1 шт.	1431	1431
Воздуходувка	1 шт.	2957	2957
Дымосос	1 шт.	2231	2231
Вентилятор	1 шт.	628	628
Подогреватель газов	1 шт.	1390	1390
Подогреватель воздуха дутья	1 шт.	14255	14255
Ёмкость для охлаждения целевых продуктов	1 шт.	88	88
Ёмкость для хранения карбонизата	1 шт.	450	450
Емкость для сбора и хранения конденсата	1 шт.	110	110
Итого		63580	63580

Общая стоимость оборудования должна включать наряду с данными таблицы 54 стоимость неучтённого оборудования. (15 % от учтённого), транспортно-заготовительные и складские затраты (8 % от стоимости оборудования, включая неучтённое), стоимость монтажа оборудования (14 %), трубопроводов (10 %),

КИПиА (10 %) и специальных работ (10 %). Таким образом, капитальные затраты (K_3) должны составлять 106 179 US \$.

Работу установки обеспечивают (в скобках указана месячная заработная плата каждого работника персонала в US \$ в современной экономической ситуации в республике Союз Мьянма) 5 аппаратчиков (150), слесарь-механик (160), электрик (160), 2 разнорабочих (160), уборщик (160) и начальник участка (400), суммарная заработная плата которых в месяц составляет 1950 US \$. Годовой фонд заработной платы равен $1950 \times 12 = 23400$ US \$.

Годовые потребности в сырье, топливе и электроэнергии для производства активного угля из КПТ согласно охарактеризованной технологии наряду с их стоимостью выражают данные таблицы 55. Расходы воды на операции охлаждения и производства пара здесь не учтены в связи с наличием в районе планируемого размещения установки больших и близко расположенных водоёмов [506]. Расчёт топлива (дизельное топливо ДТ) для пиролиза $[(142000 \text{ кг сырья} \times 365 \text{ }^\circ\text{С} \times \text{теплоёмкость древесины } 2,7 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})) / \text{ДТ } 42,7 \text{ МДж}/\text{кг}] = 32,78 \text{ кг ДТ?}$. Для операции активация $[(63000 \text{ кг карбонизата} \times 710 \text{ }^\circ\text{С} \times \text{теплоёмкость древесного угля } 4,74 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})) / \text{ДТ } 42,7 \text{ МДж}/\text{кг}] = 49,65 \text{ кг ДТ}$, что округляется до 50 кг ДТ?. Общая потребность в топливе составляет 83 кг ДТ. $(83 \text{ кг} / 860 \text{ м}^3/\text{кг} = 0,0965 \text{ м}^3$ или 96,5 л). [528].

Затраты на потребляемые ресурсы сведены, а таблицу 63.

Таблица 63 - К расчёту затрат на сырье, топливо и электроэнергию

Наименование	Един. измерения	Норма расхода на 1 т продукта	Всего за год	Цена за единицу, US \$	Общая стоимость, US \$
Сырье (КПТ)	т	5	142	20	2840
Топливо (соляровое масло)	л	3,2	96,5	0,46	43,95
Электроэнергия	кВт-ч	3420,4	9600	0.08	768
Всего					3651,95

Сведения, связанные с расчётом амортизационных отчислений на оборудование, приведены в таблице 64.

Таблица 64 – К расчёту амортизационных отчислений

№	Наименование оборудования	Стоимость (С), \$ США	Норма отчислений, %	Сумма (А) отчислений, \$ США
1	2	3	4	5
1	Печь косвенного нагрева	30000	7,5	2250
2	Топка	350	13,3	46,55
3	Дробилка	2610	7,5	195,75
4	Грохот	4500	7,5	337,5
5	Генератор пара	2580	8,8	227,04
6	Конденсатор	1431	8,8	125,93
7	Воздуходувка	2957	10,5	310,49
8	Дымосос	2231	10,5	234,3
9	Вентилятор	628	10,5	65,94
10	Подогреватель газов	1390	8,8	122,32
11	Подогреватель воздуха дутья	14255	8,8	1254
12	Ёмкость для охлаждения карбонизата и активного угля	88	13,1	11,53
13	Ёмкость для хранения карбонизата	450	12,3	55,35
14	Ёмкость для сбора и хранения конденсата	110	12,3	13,53
	Итого	63580		5250,23

Исходя из данных таблицы 64, средневзвешенная норма амортизационных отчислений составляет $A \cdot 100 / C = 5250,23 \cdot 100 / 63580 = 8,26$ %. Следовательно, размер амортизационных отчислений должен составлять $106179 \times 0,086 = 8759,77$ US \$ (106 179 US \$ здесь – оценённые выше капитальные затраты).

Сумма текущих затрат на единицу продукции (T_3) и произведения нормативного коэффициента ($E_n=0,15$) на капитальные затраты (K_3) на единицу получаемого продукта представляет собой приведённые затраты (Π_3): $\Pi_3 = T_3 + E_n \cdot K_3 = 13099:30 + 0,15 \times (106179:30) = 967,53$ т/ US \$.

Смету расходов на содержание и эксплуатацию оборудования характеризуют данные таблицы 65.

Таблица 65 - Смета расходов на содержание и эксплуатацию оборудования

№	Статья расходов	Сумма, США	Примечание
1	2	3	4
1	Расходы по эксплуатации оборудования	3179	5 % от итоговой стоимости
2	Расходы по текущему ремонту оборудования	3179	5 % от итоговой стоимости
3	Расходы по амортизации оборудования	8760	
	Итого	15118	
4	Прочие расходы	1511,8	10 % от суммы итого
	Всего	16629,8	

Аналогичные расчёты выполнены и для такой же оценки переработки других использованных в работе отходов за исключением букетов роз. Их итоговые результаты сведены в таблицу 66.

Таблица 66 - Некоторые технико-экономические показатели производства активных углей в объёме 30 т/год на основе использованных растительных отходов.

Наименование показателя	Един. измерения	Норма расхода на 1 т продукта	Всего за год	Цена за единицу, \$ США	Общая стоимость, \$ США.
1	2	3	4	5	6
СКО					
Сырье	т	6,(6)	200	35	7000
Топливо (карбонизат)	т	3,867	116	100	11600
Электроэнергия	кВт-ч	3420,4	102612	0,08	8208
Капитальные затраты	US\$	1280,9	30	1280,9	38427
Годовой фонд заработной платы	US\$	1675,42	12	20105	20105
Амортизационные отчисления	US\$	107,6	30	3228	3228
Содержание и эксплуатация оборудования	US\$	900,76	30	27023	27023
Себестоимость производства	US\$			2464	73936
Приведённые затраты	US\$	1000,29	30	30008,9	30008,9
Оптовая цена	US\$			3500	
РШ					
Сырье	т	1,(3)	80	20,8	1664
Топливо (карбонизат)	т	0,65	19,5	114	2223
Электроэнергия	кВт-ч	3420,4	102612	0,08	8208
Капитальные затраты	US\$	1280,9	30	38427	38427
Годовой фонд заработной платы	US\$	1675,42	12	20105	20105

Продолжение таблицы 66					
Наименование показателя	Един. измерения	Норма расхода на 1 т продукта	Всего за год	Цена за единицу, \$ США	Общая стоимость, \$ США.
1	2	3	4	5	6
Содержание и эксплуатация оборудования	US\$	900,77	30	27023	27023
Себестоимость производства	US\$			1974	59223
Приведённые затраты	US\$			1061	
Оптовая цена	US\$			2900	
ЖД					
Сырье	т	6, (3)	250	25	6250
Электроэнергия топливо	л	10	2500	0,56	1400
Электроэнергия	кВт-ч	3420,4	102612	0,08	8209
Капитальные затраты	US\$	384,03	30	11521	11521
Годовой фонд заработной платы	US\$	1770	12	21240	21240
Амортизационные отчисления	US\$	257,3	30	7719,07	7719,07
Содержание и эксплуатация оборудования	US\$	63,03	30		1891
Себестоимость производства	US\$			1229	36869,07
Приведённые затраты	US\$			1751	
Оптовая цена	US\$			2220	
КПТ					
Сырье	т	5	142	20	2840

Продолжение таблицы 66					
Наименование показателя	Един. измерения	Норма расхода на 1 т продукта	Всего за год	Цена за единицу, \$ США	Общая стоимость, \$ США.
1	2	3	4	5	6
Электроэнергия топливо	л	0,46	96,5	442	44,39
Электроэнергия	кВт-ч	320	9600	0,08	768
Капитальные затраты	US\$	3539,3	30	106179	106179
Годовой фонд заработной платы	US\$	1950	12	23400	23400
Амортизационные отчисления	US\$				8759,77
Содержание и эксплуатация оборудования	US\$				3179
Себестоимость производства	US\$			4839	145170
Приведённые затраты	US\$			793,49	
Оптовая цена	US\$			5600	
ГП					
Сырье	т	6 (3)	155	25	3875
Электроэнергия топливо	т	0,1	3,1	46	143
Электроэнергия	кВт-ч	533,3	16000	0.08	1280
Капитальные затраты	US\$	580	30	17400	17400
Годовой фонд заработной платы	US\$	1875	12	22500	22500
Амортизационные отчисления	US\$	206,43	30	6193	6193

Продолжение таблицы 66					
Наименование показателя	Един. измерения	Норма расхода на 1 т продукта	Всего за год	Цена за единицу, \$ США	Общая стоимость, \$ США.
1	2	3	4	5	6
Содержание и эксплуатация оборудования	US\$	186,67	30	5600	5600
Себестоимость производства	US\$			1899,7	56991
Приведённые затраты	US\$			1074,5	
Оптовая цена	US\$			2900	
ОСМ					
Сырье	т	6(6)	245	22	5390
Электроэнергия топливо	л	215,6	6468	0,66	4269
Электроэнергия	кВт-ч	320	9600	0,08	768
Капитальные затраты	US\$	1599,6	30	47988	47988
Годовой фонд заработной платы	US\$	1278	12	15336	15336
Амортизационные отчисления	US\$	201,16			2414
Содержание и эксплуатация оборудования	US\$	95,77			2873
Себестоимость производства	US\$			2634,6	79038
Приведённые затраты	US\$			12588	
Оптовая цена	US\$			3600	

Продолжение таблицы 66					
СКС					
Наименование показателя	Един. измерения	Норма расхода на 1 т продукта	Всего за год	Цена за единицу, \$ США	Общая стоимость, \$ США.
1	2	3	4	5	6
Сырье	т	3(6)	135	30	4050
Электроэнергия топливо	л	10	2500	0,56	1400
Электроэнергия	кВт-ч	3420,4	102612	0,08	8209
Капитальные затраты	US\$	1304,575	30	39137	39137
Годовой фонд заработной платы	US\$	1675,42	12	20105	20105
Амортизационные отчисления	US\$	107,6	30	3228	3228
Содержание и эксплуатация оборудования	US\$	733,33	30	22000	22000
Себестоимость производства	US\$			3270	98129
Приведённые затраты	US\$	327,13	30	9814	9814
Оптовая цена	US\$			4300	

Результаты приведенных технико-экономических показателей получения активных углей из растительных отходов Мьянмы указывают на экономическую целесообразность организации в стране их производства. Реализация такого производства позволяет снизить ущерб, наносимый неиспользуемыми отходами окружающей среде. Такой ущерб $У_n$ применительно к каждому из использованных в работе отходов может быть оценён в соответствии с работой [529] с привлечением выражения:

$$Y_{\text{п}} = q \times y_{\text{п}} \times M_{\text{п}},$$

где, $M_{\text{п}}$ - масса выбросов в почву (т/год), q – коэффициент, учитывающий ценность земельных ресурсов, $y_{\text{п}}$ – удельный ущерб от выброса 1 т отходов в почву. Согласно [529] для орошаемых сельскохозяйственных угодий (рассматриваемый случай) величина коэффициента q составляет 2, а величина $y_{\text{п}}$ равна 15 руб/т для отходов IV класса опасности (практически неопасные) [530]. Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния почвы для Мьянмы составляет $k_{\text{эс почв}} = 1,6$ [530]. Таким образом, оцениваемую величину целесообразно принять равной $y_{\text{п}} = 1,6 \times 15 = 24$ руб/т. Следовательно, величина характеризуемого предотвращаемого ущерба для отходов КПТ составляет $2 \times 24 \times 142 = 6816$ руб, где 142 т – масса отходов, использованных для производства активных углей.

Для расчёта величины эколого-экономического эффекта (ЭЭ) используют формулу [529]:

$$\text{ЭЭ} = (Y_1 - Y_2) \times A_0 \times Y_0,$$

где Y_1 , Y_2 – экономические ущербы, наносимые окружающей среде выбросом отходов первичного и вторичного сырья, Y_0 – экономический ущерб, наносимый окружающей среде выбросом единицы отходов в том случае, если отходы не утилизируют, составляет 140 руб/га [530]. Таким образом, при высоте слоя 1 м выгруженных на сельскохозяйственный участок 30 т отходов КПТ занимаемая ими площадь составит $7,5 \text{ м}^2$, а названный экономический ущерб составит $140 \times 0,00075 = 0,105$ руб., A_0 – годовой объем отходов, утилизируемых в процессе – 142 т/год. $\text{ЭЭ} = (6816 - 0) \times 142 \times 0,105 = 101626,56$ руб. (1016,3 US \$) Сведения аналогичного плана для всех использованных в работе отходов сведены в таблицу 67.

Таблица 67 - Расчёты экономического эффекта для все видов использованных отходов

Сырьё	$Y_1 - Y_2$, руб.	A_o , т	Y_o , руб./т	ЭЭ, US \$
СКО	2286	48	0,26	285,3
РШ	3744	78	0,084	245
КПТ	6816	142	0,105	1016,3
ЖД	4800	100	0,126	604,8
ГП	4800	100	0,126	604,8
СКС	2880	60	0,252	435,5
ОСМ	5760	120	0,105	725,8

Оптовые цены на продукцию в виде активных углей на мировом рынке значительно превышают себестоимость их производства, что формирует потенциальную высокую прибыль. Для экономической ситуации Мьянмы целесообразно использование более низких цен. Так, в частности, согласно данным таблицы 67 (пример КПТ) при себестоимости 4839 US \$ вполне рациональна оптовая цена 6000 US \$ за тонну, обеспечивающая маржу в 1161 US\$, вполне удовлетворяющую производителя активных углей. Тем не менее, себестоимость производства различна для использованных в работе видов сырья (наибольшая — 4839 US \$ у КПТ, наименьшая — 1751 US \$ у ЖД), что с учётом отмеченного выше также может влиять на оптовую цену получаемых активных углей. Таким образом, сведения, представленные в таблице 66, позволяют констатировать, что даже в условиях периодической реализации процесса организация производства из использованных в работе растительных отходов 30 т в год активных углей может быть экономически целесообразной. Наряду с этим, производство этих адсорбентов способствует созданию дополнительных рабочих мест и увеличению прибыли государству за счёт налоговых сборов.

Выводы

1. Методами физико-химических, физических и химических исследований представительных образцов крупнотоннажных растительных отходов сельскохозяйственного и пищевых производств Мьянмы установлены элементный состав и ряд технических характеристик этих материалов, позволяющие их оценить в качестве перспективного сырья для производства углеродных адсорбентов и способствующие развитию научных знаний о названных видах отходов.
2. Результаты термографических испытаний отходов и науглероженных продуктов их пиролиза в защитной и окислительной средах определены рациональные диапазоны термического воздействия на эти материалы в атмосфере продуктов собственного разложения.
3. Результаты систематических исследований определены закономерности воздействия управляющих параметров и сырьевых факторов на результативность процессов пиролиза указанных отходов и активации водяным паром их карбонизированных остатков в виде выхода, технических свойств и структурно-адсорбционных характеристик получаемых углеродных адсорбентов.)
4. Путём сопоставительных оценок показателей полученных углеродных адсорбентов обоснованы рациональные условия их производства в виде величин интенсивности нагревания, предельной температуры, длительности изотермической выдержки (для пиролиза), удельного расхода водяного пара (для активации), приводящих к целесообразным значениям выхода и структурно-адсорбционных характеристик целевых продуктов.
5. Установлены показатели целевых продуктов пиролиза и активации, полученных в рациональных условиях, позволяющие констатировать их принадлежность к углеродным адсорбентам достаточно высокого качества.
6. Охарактеризованными ряд технологически значимых показателей конденсатов и неконденсирующихся газов, выступающие в роли побочных продуктов процессов пиролиза и активации. Обсуждены возможные направления их применения.

7. Изучены зависимости технических характеристик (выхода, зольности, прочности при истирании) и структурно-адсорбционных параметров (объёмов суммарного, микро- и мезопор, а также удельной поверхности, поглощения йода и красителя метиленового голубого) активных углей от типа растительных отходов, использованных в качестве сырья. Подтверждено, что эти характеристики хорошо согласуются с известными данными о трансформации растительного сырья при пиролизе и активации его науглероженных остатков с использованием водяного пара, при этом наблюдается индивидуальность для каждого вида сырья, что исключает формирование других, помимо упомянутых, чётких закономерностей.
8. Оценена эффективность углеродных адсорбентов, полученных в ходе исследования, при очистке производственных сточных вод от растворенных органических загрязнителей, а также при локализации нефтяных плёнок на поверхности воды, извлечении паров летучих органических растворителей из выбросов в атмосферу и решении смежных задач. Результаты показали, что эти адсорбенты имеют конкурентоспособные характеристики по сравнению с коммерческими активными углями, произведёнными в России на основе древесины.
9. Обоснована целесообразность более рационального использования рисовой шелухи путём обработки продукта её пиролиза раствором NaOH с последующей активацией с $ZnCl_2$ освобождённого от соединений кремния, отмытого и высушенного углеродного остатка, обеспечивающей возможность получения наряду с активным углём дополнительной товарной продукции в виде жидкого стекла или диоксида кремния чистотой 98 %..
10. Доказано, что модифицирование активного угля, полученного из древесины железного дерева, с помощью раствора тиомочевины и последующий пиролиз импрегнированного материала способствуют изменению ионообменных свойств конечного продукта. Это придаёт ему определённую катионообменную способность, при этом практически сохраняя его структурно-адсорбционные характеристики на уровне исходного материала. Наряду с этим, модифицированные адсорбенты демонстрируют существенные преимущества при очистке от органических примесей

многокомпонентных производственных стоков в сравнении с активным углём российского производства марки БАУ.

11. Выявлена рациональность химической активация оболочек семян манго с хлоридом цинка, обеспечивающей трансформацию пористой структуры и ионообменных свойств получаемых углей, значительный рост их поглотительной способности по парам н-бутанола и эффективности извлечения ИТМ из их растворов.

12. Новизна технических решений, связанных с получением из ряда использованных отходов активных углей, обладающих уникальными свойствами, защищена патентами РФ.

13. Проведена предварительная технико-экономическая оценка возможности производства активных углей в условиях Мьянмы, путём пиролиза изученных отходов и активации его науглероженных остатков водяным паром, результаты которой свидетельствуют о возможности получения качественной продукции пониженной себестоимости.

14. Совокупностью выполненных исследований внесён потенциально значимый вклад в технологию производства активных углей на основе растительных отходов и их номенклатуру.

Список использования источников информации

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – Москва : Химия, 1976. – 512 с.
2. Мухин В.М. Применение активных углей для решения глобальных вопросов защиты биосферы / Адсорбция, адсорбенты и адсорбционные процессы в нанопористых материалах. – Москва: Издательская группа «Граница» – 2011. – С. 469–479.
3. Tamarind [Электронный ресурс] — URL: <https://www.britannica.com/plant/tamarind> (дата обращения: 23.01.2025)
4. Уголь, активированный из скорлупы кокоса (Иргиредмет) [Электронный ресурс] — URL: <http://www.irgiredmet.ru/activity/oborud/ugol/>. (дата обращения: 07.03.2021).
5. Выращивание хлопка в Мьянме [Электронный ресурс] — URL: <https://www.gnlnm.com.mm/500000-acres-of-cotton-to-be-grown-across-nation-in-2022-2023fy/> (дата обращения: 01.06.2022).
6. Marina Lommerse. Yangon Alley Garden: A trail of paper flowers between Myanmar and Fremantle [Электронный ресурс] — URL: <https://garlandmag.com/article/yangon-alley-garden-a-trail-of-paper-flowers-between-myanmar-and-fremantle/> (дата обращения: 01.08.2021).
7. Jin Q.N. A review of household and industrial anaerobic digestion in Asia: biogas development and safety incidents / Q.N. Jin // Renewable and Sustainable Energy Reviews, – 2024. – Vol. 197. – № 114371. – P. 1-15.
8. Sivakumar B. Preparation and characterization of activated carbon prepared from balsamodendron caudatum wood waste through various activation processes / B. Sivakumar, C. Kannan, S. Karthikeyan // Rasayan Journal of Chemistry. – 2012. – Vol. 5(3). – P. 321-327.
9. Уголь, активированный из скорлупы кокоса (Иргиредмет) [Электронный ресурс] — URL: <http://www.irgiredmet.ru/activity/oborud/ugol/>. (дата обращения: 07.03.2021).

10. Дэвис Г.М. Влияние выбора модели пор на характеристику распределения размеров внутренней структуры / Г.М. Дэвис, Н.А. Ситон // Углерод. – 1998. – Т. 36. – С. 1473–1490.
11. Самонин В.В. Сорбирующие материалы, изделия, устройства и процессы управляемой адсорбции / Самонин В.В., Подвязников Б.Л., Никонова В.Ю., Спирижонова Е.А., Шевкина А.Ю. // Санкт-Петербург, Наука. – 2009. – 271 С.
12. Activated carbon granular in Myanmar [Электронный ресурс] — URL: <https://www.activatedcarbongranular.com/Myanmar/activated-carbon-granular.html> (дата обращения: 24.01.2025)
13. Со Вин Мьинт. К оценке рациональных условий переработки на углеродные адсорбенты шелухи риса и скорлупы кокосовых орехов республики Мьянма / Со Вин Мьинт, Си Тху Аунг, В. Н. Клушин // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – Т. 28. – № 5 (154). – С. 8–10.
14. Бансал Р.К. Active Carbon / Р.К. Бансал, Д. Жан-Батист, С. Фриц: Нью-Йорк: Marcel Dekker, Inc., – 1988. – 482 с.
15. Томчик А. Физико-химические свойства биоугля: температура пиролиза и влияние вида сырья / З. Соколовская, П. Богута, А. Томчик // Окружающая среда. Биотехнолог. – 2020. – Т. 19. – С. 191–215.
16. Лян Л. Обзор удаления органических и неорганических загрязнителей с помощью биоугля и композитов на основе биоугля / Л. Лян, Ф. Си, В. Тан // Биоуголь. – 2021. – Т. 3. – С. 255–281.
17. Vijay Bhatt. A Case Study on Production of Biochar to Enhance the Soil Fertility, Reduced Carbon Emission in Context of Climate Change in Western Nepal. Affiliation: United Nations Association of Nepal / Multi Stakeholder Forestry. – 2014. DOI:[10.13140/RG.2.1.3397.9367](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3397.9367) (дата обращения: 13,12,2020).
18. Геза К. Instalatie i procedeu decarbonizarea biomasei. Romanian Patent. – 2013. – No. 00183.
19. Савельева Ю.Р. Получение активного угля из скорлупы кедрового ореха / А.Н. Кряжов, М.С. Богомолов, Ю.Р. Савельева // Химия растительного сырья. – 2003. – № 4. – С. 61–64.

20. Наши технологии. III. Технология получения активированного угля из скорлупы кедрового ореха [Электронный ресурс] — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-aktivnogo-uglya-iz-skorlupy-keдрового-oreha/viewer> (дата обращения: 08.06.2021).
21. Патент KZ (13) В (11) 20216 Республика Казахстана, МПК C01B 31/08, (2006.01), № 2005/0917.1 : заяв. 14.07.2005. Опбли. 17.11.2008 бюлл. № 3; Способ получения активного угля / С.А. Ефремов, М.К. Наурызбаев, С.В. Нечупиронко [и др.]. Заявитель: Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Казахский национальный университет ММ. «аль-Фараби». Министерства образования и науки Республики Казахстан.
22. Бамбуковый уголь - полезные свойства и применение [Электронный ресурс] — URL: <https://bestfromthai.ru/2016/02/16/bambukovyyiy-ugol> (дата обращения: 03.07.2022).
23. Бансоде Р.Р. Адсорбция ионов металлов гранулированным активированным углем из скорлупы ореха пекан / Р.Р. Бансоде, Дж.Н. Лорсо, В.Е. Маршал и др. // Bioresource Technol. – 2002. – Vol. 89. – P. 115–119.
24. Иванов И.П. Изучение свойств активных углей из зернёной коры лиственницы / И.П. Иванов, И.Г. Судакова, Н.М. Иванченко и др. // Химия растительного сырья. – 2011. – № 1. – С. 81–86.
25. Muthanna J. A. Equilibrium isotherms and kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons / J.A. Muthanna, K.T. Samar // Fluid Phase Equilibria. – 25 March 2012. – Vol. 318. – P. 115-120.
26. Алиев И.М. Экономика труда / Алиев И.М. Горелов Н.А. и Ильина Л.О. – М.: Юрайт, 2016. – 478 с.
27. Древовидные папоротники. Pandanus Parkinson. World Checklist of Selected Plant Families. Royal Botanic Gardens – 2018, October. [Электронный ресурс] — URL; <https://www.botanichka.ru/article/pandanus/> (дата обращения 06.08.2022)
28. Alverson W.S. Circumscription of the Malvales and relationships to other Rosidae: Evidence from rbcL sequence data // Karol K.G., Baum D.A. etc. // American Journal of Botany – 1998. – Vol. 85. – P. 876-887.

29. Порядок мальвоцветные (Malvales) [Электронный ресурс] — URL: <https://studfile.net/preview/5249049/page:21/> (дата обращения: 13.06.2021).
30. Семейство Диптерокарповые [Электронный ресурс] — URL: <https://www.inaturalist.org/taxa/68691-Dipterocarpaceae> (дата обращения: 15.07.2021).
31. Forests and forestry in Myanmar: an overview of forestry laws, policies and strategies [Электронный ресурс] — URL: <https://afocosec.org/newsroom/news/forestry-news/forests-and-forestry-in-myanmar-an-overview-of-forestry-laws-policies-and-strategies/> (дата обращения: 01.12.2021).
32. Бараненко С.П. Экономика и социология труда – М.: Рос. Акад. предпр., – 2018. – 434 с.
33. Dipterocarpus acutangulus [Электронный ресурс] — URL: <https://www.inaturalist.org/taxa/880132-Dipterocarpus-acutangulus> (дата обращения: 01.02.2021).
34. Леса Юго-восточной Азии [Электронный ресурс] — URL: <http://www.neppy.ru/lesa-yugo-vostochnoy-azii> (дата обращения: 12.03.2019).
35. Pyinkado [Электронный ресурс] — URL: <https://images.fordaq.com/p-290000-287367-D1/D1.pdf> (дата обращения: 17.05.2018).
36. Что такое железное дерево? [Электронный ресурс] — URL: www.topauthor.ru/chto_takoe_geleznoe_derevo_6bb5.html (дата обращения: 23.07.2018).
37. Удивительное знакомство с железным деревом [Электронный ресурс] — URL: <https://ogorod.mirtesen.ru/blog/43071545876/Udivitelnoe-znakomstvo-s-zheleznyim-derevom> (дата обращения: 23.07.2020).
38. Пуинкадо (Xylia Kerri) [Электронный ресурс] — URL: http://www.redwood.ru/puinkado_deng_1.html (дата обращения: 27.08.2019).
39. Yu Ya Aye. Carbonstorage of 15-year-old Xyliaxylocarpa and Pterocarpus macrocarpus plantations in the Katha District of Myanmar // Yu Ya Aye, Don Koo Lee, Yeong Dae Park и др. // Forest Science and Technology – 2011 – Vol. 7 – No. 3. – P. 134-140.

40. Xyliaxylocarpa [Электронный ресурс] — URL: <https://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Xylia+xylocarpa> (дата обращения: 25.05.2020).
41. Железные деревья [Электронный ресурс] — URL: www.life-nature.ru/articles/6/article121.htm (дата обращения: 23.03.2024).
42. Железное дерево [Электронный ресурс] — URL <https://bigenc.ru/c/zheleznoe-derevo-635456> (дата обращения: 23.07.2022).
43. Железное дерево (mesuaferrea) [Электронный ресурс] — URL: <https://www.evaveda.com/spravochnye-materialy/lekarstvennye-travy-v-ayurvede/zheleznoe-derevo/> (дата обращения: 23.07.2022).
44. Кокосовая пальма уход за растением [Электронный ресурс] — URL: <https://geoglass.ru/vse-o-rastenyakh/kokosovaya-palma-uhod/> (дата обращения 09.10.2023).
45. Экзотический орех кокос - полное описание: полезные свойства, противопоказания для организма и применение продуктов из него [Электронный ресурс] — URL: <https://vk.com/@prodmarkets-ekzoticheskii-oreh-kokos-polnoe-opisanie-poleznye-svoistva-i> (дата обращения: 24.07.2023).
46. Why is coconut tree called as the tree of heaven? [Электронный ресурс] — URL: <https://sweetishhill.com/why-is-coconut-tree-called-as-the-tree-of-heaven/> (дата обращения: 07.08.23).
47. Кокосовая пальма. Ода кокосовой пальме [Электронный ресурс] URL: <https://www.krugosvet.ru/enc/biologiya/kokosovaya-palma> (дата обращения: 29.09.2023).
48. Со Вин Мьинт. Исследование в области технологии термической переработки скорлупы орехов кокоса республики Мьянма. Дисс-я к.т.н. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2017. – 145 с.
49. Райское наслаждение" Кокосовые ароматы [Электронный ресурс] — URL: <https://dzen.ru/media/id/5b4b6587800a6800a9243f6c/raiskoe-naslajdenie-kokosovye-aromaty-5b88f3c449879300aa4fe620> (дата обращения: 31.08.2023).

50. Цезальпиниевые [Электронный ресурс] — URL: <https://www.britannica.com/plant/Caesalpinaceae> (дата обращения: 14.09.2021).
51. Tamarind [Электронный ресурс] — URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6848808/> (дата обращения 20.07.2019).
52. Tamarind [Электронный ресурс] — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тамаринд> (дата обращения: 23.01.2022).
53. Дубровин И.А. Экономика труда / Дубровин И.А., Каменский А.С. – М.: Изд-во Дашков и К, 2017. – 232 с.
54. Gayathri R. Removal of chromium (VI) ions from aqueous solution using tamarind seeds as an adsorbent / Gayathri R., Thirumarimurugan M., Kannadasan T. // International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences. – 2013. – Vol. 2(2). – P. 984-991.
55. Наинг Линн Сое. Переработка отходов древесины железного дерева в активные угли. Дисс-я к.т.н. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева – 2019. – 151 с.
56. Forestresources of Myanmar [Электронный ресурс] — URL: <http://www.timbertradeportal.com/countries/myanmar/> (дата обращения: 01.08.2018).
57. Myanma Timber our treasure sustainable Forever [Электронный ресурс] — URL: <http://www.mte.com.mm/index.php/en/export-marketing-milling-department> (дата обращения: 18.10.2022).
58. Main duties of planning & statistics department [Электронный ресурс] — URL: <http://www.mte.com.mm/index.php/en/planning-statistics-department/organization-chart> (дата обращения: 18.10.2022).
59. Мьянма с начала века лишилась 1,7 миллионов гектаров леса. [Электронный ресурс] — URL: <https://regnum.ru/news/1973729> (дата обращения: 12.05.2025)
60. Асация [Электронный ресурс] — URL: <https://www.britannica.com/plant/acacia> (дата обращения: 19.01.2023).
61. Textiles and garment manufacturers weigh in on privatization [Электронный ресурс] — URL: <https://enterprise.press/industries/textiles-garment-manufacturers-weigh-privatization-plans/> (дата обращения: 21.08.2022).
62. Evolution of Myanmargarment industry: Past, Present and Future/fiber2fashion [Электронный ресурс] — URL: <https://www.fibre2fashion.com/industry->

- [article/7567/evolution-of-myanmar-garment-industry-past-present--future](https://www.researchgate.net/publication/358123456/article/7567/evolution-of-myanmar-garment-industry-past-present--future) (дата обращения: 05.01.2022).
63. Мьят Мин Тху. Разработка активных углей из отходов возделывания хлопчатника Республики Союз Мьянма. Дисс. к.т.н. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2021. – 109 с.
64. Cotton Plant [Электронный ресурс] — URL: <https://www.cottonacres.com/cotton-plant/> (дата обращения: 17.01.2022).
65. Хлопчатник – народнохозяйственное значение, виды и сорта [Электронный ресурс] — URL: <http://agro-portal24.ru/agronomiya/255-hlopchatnik-> (дата обращения: 01.11.2023).
66. Cotton [Электронный ресурс] — URL: <http://www.arc.agric.za/arc-iic/Pages/Cotton.aspx> (дата обращения: 11.10.2023).
67. Ахмедов А.Р. Кому нужна гуза-пая. / А.Р. Ахмедов, И.Н. Лозановская, Д.С. Орлов // Химия и жизнь. – 1986. – № 10. – С. 24–28.
68. Карбонизация растительного сырья и исследование полученных материалов физико-химическими методами анализа [Электронный ресурс] — URL : <https://helpiks.org/3-96312.html> (дата обращения: 01.11.2022).
69. Казакова Ф.К. Экономика и социология труда. / Беянина И.В. и Казакова Ф.К. – Москва : Госуд. Индустр. Универ. – 2017. – 148 с.
70. Land of rice and rivers [Электронный ресурс] — URL: <https://www.insightguides.com/inspire-me/blog/in-depth-land-of-rice-and-rivers> (дата обращения: 21.08.2019).
71. The Global Information and Early Warning System (GIEWS), Food and Agriculture Country review Myanmar [Электронный ресурс] — URL: <https://reliefweb.int/report/myanmar/giews-country-brief-myanmar-18-october-2022> (дата обращения: 18.10.2022).
72. The State of Food Security and Nutrition in Myanmar: Findings from the Myanmar Household Welfare Survey 2021-2022. — [Электронный ресурс] URL: <https://reliefweb.int/report/myanmar/state-food-security-and-nutrition-myanmar-findings-myanmar-household-welfare-survey-2021-2022> (дата обращения: 09.12.2022).

73. Боутон Д. Воздействие COVID-19 на сельскохозяйственное производство и продовольственные системы в Юго-Восточной Азии на поздних этапах трансформации: пример Мьянмы / Д. Боутон, Дж. Геб, И. Ламбрехт и др. // сельскохозяйственные системы. – 2021. – Vol. 188. – С. 1–9.
74. Хебебранд К. Высокие цены на удобрения способствуют росту опасений по поводу глобальной продовольственной безопасности. / К. Хебебранд и Д. Лаборде // Блог ИФПРИ. - 22.04.2022 . [Электронный ресурс] — URL: <https://www.ifpri.org/blog/high-fertilizer-prices-contribute-rising-global-food-security-concerns> (дата обращения: 25.04.2022).
75. Data analysis overview of the fruit sector in Myanmar [Электронный ресурс] — URL: <https://www.fftc.org.tw/en/publications/main/2008> (дата обращения: 21.02.2022).
76. Myanmar Fruit, Flower and Vegetable Producer and Exporter Association [Электронный ресурс] — URL: <http://www.fftc.agnet.org/library> (дата обращения: 21.02.2022).
77. Мин Тху. Переработка на активные угли оболочек косточек сливы – отходов пищевых производств. Дисс. к.т.н. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2020. – 134 с.
78. Sein Hla Bo. Deciduous fruit production in Myanmar. [Электронный ресурс] — URL: <https://www.fao.org/4/ab985e/ab985e08.htm#bm08> (дата обращения: 21.02.2022)
79. Манго (растение) [Электронный ресурс] — URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Манго_\(растение\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Манго_(растение)) (дата обращения: 21.02.2022)
80. Манго индийское [Электронный ресурс] — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Манго_индийское (дата обращения: 21.02.2022)
81. Манго: дерево-долгожитель и «стахановец»-производитель [Электронный ресурс] — URL: https://www.greeninfo.ru/artcafe/cookery/exotic_foods/mango-derevo-dolgozhitel-i-stahanovecproizvoditel_art.html (дата обращения: 01.04.2023).
82. Зин Мое. Исследование рациональности и эффективности переработки отходов консервирования плодов манго на активные угли. Дисс. к.т.н. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2019. – 149 с.

83. Где растёт манго? [Электронный ресурс] URL: <https://www.dagonuniversity.edu.mm/wp-content/uploads/2020/06/Thandar-Aye-1.pdf/> (дата обращения: 09.07.2022).
84. Naing W. Effects of modified atmosphere packing (MAP) with and without chemicals on postharvest characteristics of mango (*Mangifera indica*) cv. Sein Ta Lone. Master Thesis Dissertation, Department of Horticulture, Yezin Agricultural University, Nyi Pyi Taw, Myanmar – 2003. – С. 13-25.
85. Ministry of Agriculture and Irrigation (MOAI). Myanmar Agriculture in Brief 2011, Nay Pyi Taw, Myanmar [Электронный ресурс] — URL: <http://www.fao.org/3/a-bl842e.pdf> (дата обращения: 27.10.2022).
86. Tun A. Advancing banana and plantain in Myanmar , Asia and the Pacific - Vol. 13. / A.Tun, A.B. Molina and L.B. Xu // Proceedings of the 3rd BAPNET Steering committee meeting held in Guangzhou, China. – 23-26 November 2004. – P. 16-22.
87. Department of Agriculture (DOA). Ministry of Agriculture and Irrigation, Department of Agriculture, Myanmar Horticultural Crops Production Report (2010-2011) [Электронный ресурс] — URL: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/faoweb/docs/MM3/Statements/Myanmar.pdf (дата обращения: 27.10.2022).
88. Посадка цветов для светлого будущего, Vision Fund. [Электронный ресурс] — URL :<https://www.visionfund.org/stories/loans/planting-flowers-brighter-future> (дата обращения: 07.10.2019).
89. Пиин У Лвин проведет 15-й фестиваль цветов, Global New Lights of Myanmar [Электронный ресурс] — URL: <https://www.gnlm.com.mm/pyinoolwin-to-hold-15th-flower-festival-in-dec-2022/> (дата обращения: 20.10.2022).
90. Красота и популярность сезонных цветов Мьянмы, Mylocalpassion [Электронный ресурс] — URL: <https://www.mylocalpassion.com/posts/beauty-and-popularity-of-myanmar-seasonal-flowers> (дата обращения: 14.04.2022).
91. Feed the Future [Электронный ресурс] — URL: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00WM3H.pdf (дата обращения: 10.01.2023).

92. Мьянма: сектор цветов [Электронный ресурс] — URL: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/03/Myanmar-Flower-Sector-Quick-Scan>. (дата обращения: 25.12.2022).
93. Передерий, М.А. Получение углеродных сорбентов из некоторых видов биомассы [Текст] / Ю.А. Носкова и М.А. Передерий // Химия твердого топлива. — 2008. — № 4. — С. 30–36.
94. Юркина О. А. Отходы сельскохозяйственного производства, проблемы их утилизации и переработки / Сборник: «Молодёжь – науке: образование, здоровье, экология – 2015», Красноярск. – 2015. – С. 98–99.
95. Turning bio-waste to a bio-economy in the Ayeyarwady delta [Электронный ресурс] — URL: <https://gggi.org/turning-bio-waste-to-a-bio-economy-in-the-ayeyarwady-delta/> (дата обращения: 13.11.2022).
96. Представитель Мьянмы. Возобновляемые источники энергии и развитие сельских районов в Мьянме. Ханой, Вьетнам, 20 ноября 2012 г. [Электронный ресурс] — URL: <https://slideplayer.com/slide/4742681/> (дата обращения: 01.04.2019).
97. Sovacool B.K. Confronting energy poverty behind the bamboo curtain: A review of challenges and solutions for Myanmar (Burma) // Energy Sustain. Dev. – 2013. – Vol. 4. – P. 305–314.
98. Regional workshop innovation and Sustainable energy technologies for developing countries [Электронный ресурс] — URL: <https://slideplayer.com/slide/7364514/> (дата обращения: 30.03.2022).
99. Handbook, Best practices waste management system in Myanmar, 2021, pp.37 [Электронный ресурс] — URL: <https://preventplastics.org> (дата обращения 16.01.2025)
100. Government of Myanmar (2014): National Comprehensive Development Plan, Ministry of National Planning and Economic Development, Nay Pyi Taw [Электронный ресурс] — URL: https://www.switch-asia.eu/site/assets/files/3096/waste-management-best-practices_eng.pdf#:~:text=Myanmar%20has%20been%20managing,and%20irregular%20waste%20collection (дата обращения: 16.01.2025)
101. Premakumara D. Waste management in Myanmar: current status, key challenges and recommendations for national and city waste management strategies./ Matthew H.,

Kazunobu O., Ohnmar May Tin Hlaing // Institute for global environmental strategies. – 2017. – P.1–44, ISBN: 978-4-88788-197-6.

102. The National Export Strategy (NES) of Myanmar. Official document of the Government of the Republic of the Union of Myanmar 2015 - 2019 [Электронный ресурс] — URL: https://standardsfacility.org/sites/default/files/STDF_PG_486_National_Export_Strategy_0.pdf#:~:text=The%20following%20Beans%2C%20Pulses,Export%20Strategy%20%28%20NES (дата обращения: 23.01.2025)

103. Chitsan L., Nicholas K.C., Xuan T.B., Huu H.N. Composting and its application in bioremediation of organic contaminants // Bioengineered, 2022, vol.13, № 1, pp. 1073–1089

104. Ingrid Nesheim. Complex waste management in Myanmar: role of the actors, relationships, and social capital / Ingrid Nesheim, Julia Szulecka, Kyaw Min San // Environment, development and sustainability. – 2025. – Vol. 27. – P 15909-15930.

105. Innova cooperate India [Электронный ресурс] — URL: <https://www.activatedcarbongranular.com/Myanmar/index.html> (дата обращения: 25.01.2025)

106. Activated carbon granular in Myanmar [Электронный ресурс] — URL: <https://www.activatedcarbongranular.com/Myanmar/activated-carbon-granular.html> (дата обращения: 24.01.2025)

107. Muhajir M.K. Potentials of agricultural wastes as the ultimate alternative adsorbent for cadmium removal from wastewater. A review / Said M., Yonas C. // Scientific African. – 2021. – Vol. 13. – № e00934. – P.1-14.

108. Agriculture in Myanmar [Электронный ресурс] — URL: <https://www.charltonsmyanmar.com/myanmar-economy/agriculture-in-myanmar/> (дата обращения: 17.09.2021).

109. Myanmar Agribusiness Public Company Limited [Электронный ресурс] — URL: <https://mapco.com.mm/business-highlights/rice-export.html> (дата обращения: 18.06.2022).

110. Myanma Mining [Электронный ресурс] — URL: <https://www.charltonsmyanmar.com/natural-resources/myanmar-mining/> (дата обращения: 14.02.2022).

111. Amnesty International, 2017. Мьянма: гора проблем: продолжаются нарушения прав человека на шахте Летпадаунг в Мьянме [Электронный ресурс] — URL: <https://www.amnesty.org/en/documents/asa16/5564/2017/en/> (дата обращения: 12.03.2018).
112. Amnesty International, 2015. Мьянма: открыта для бизнеса? корпоративные преступления и злоупотребления на медном руднике в Мьянме. [Электронный ресурс] — URL: <https://www.amnesty.org/en/documents/asa16/0003/2015/en/> (дата обращения: 12.03.2020).
113. Hassan Shokry. Eco-friendly magnetic activated carbon nano-hybrid for facile oil spills separation / Hassan Shokry, Marwa Elkady and Eslam Salama // scientific reports naturesearch, - 2020, [Электронный ресурс] — URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7314835/pdf/41598_2020_Article_67231.pdf (дата обращения 02,08,2025)
114. Активированный уголь [Электронный ресурс] — URL: <http://www.chemsystem.ru/aktivirovanny-ugol/> (дата обращения: 17.04.2022).
115. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение / пер. с нем. под ред. // Т.Г. Плаченова и С.Д. Колосенцева. Л.: Химия, 1984. – 215 с.
116. Мухин В.М., Клушин В.Н. Производство и применение углеродных адсорбентов / В.М. Мухин и В.Н. Клушин Lambert Academic Publishing, 2018. – 350 с.
117. Активированный уголь [Электронный ресурс] — URL: <http://www.chemsystem.ru/aktivirovanny-ugol/> (дата обращения: 17.01.2022).
118. Активированный уголь [Электронный ресурс] — URL: <http://himicprod.ru/opisanie-produkcii/aktivirovanny-ugol/>. (дата обращения: 10.06.2022).
119. Колышкин Д.А., Михайлова К.К. Активные угли. Свойства и методы испытаний. Справочник / Д.А. Колышкин и К. К. Михайлова, Л.: Химия, 1972. – 56 с.
120. Кокосовый активированный уголь для очистки воздуха и других газов [Электронный ресурс] — URL: <http://www.chemsystem.ru/catalog/455> (дата обращения: 07.03.2022).
121. Шумяцкий Ю.И. Адсорбция: процесс с неограниченными возможностями / , Ю.И. Шумяцкий и Ю. М. Афанасьев, М.: Высшая школа. 1998. – 78 с.

122. Шумяцкий Ю.И. Промышленные адсорбционные процессы, М.: Колос, 2009. – 183 с.
123. Лукин В.Д. Регенерация адсорбентов / В.Д. Лукин и И.С. Антипович, М.: Химия. 1983. – 216 с.
124. Лукин В.Д., Новосельский А.В. Циклические адсорбционные процессы: теория и расчёт. Л.: Химия, 1989. – 256 с.
125. Уголь, активированный кокосовый [Электронный ресурс] — URL: http://aquaboss.ru/page/sorbenti/activated_carbon_coconut. (дата обращения: 01.09.2022).
126. Лаванчи А. Динамическая адсорбция в слоях активного угля смесей паров, соответствующих смешивающимся и несмешивающимся жидкостям / А. Лаванчи и Ф. Стёкли // Carbon. – 1998. – Vol. 36. – P. 315–321.
127. Domestic Drinking Water Treatment [Электронный ресурс] — URL: <https://www.mma-myanmar.com> (дата обращения 02.08.2025)
128. Iron Treatment System, [Электронный ресурс] — URL: <https://www.mma-myanmar.com> (дата обращения 02,08,25)
129. Мухин В.М. Активные угли России / В.М. Мухин, А.В. Тарасов и В.Н. Клушин, М.: Металлургия, 2000. – 352 с.
130. Активированный уголь [Электронный ресурс] —URL: <https://sorbent.su> (дата обращения: 12.10.2018).
131. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение / Х. Кинле и Э. Бадер, Пер. с нем. - Л.: Химия, 1984. –216 с.
132. Manoilova L. Activated carbon obtaining from various raw material via chemical activation for the purpose of environmental purification / L. Manoilova , K. Ruskova // Mechanization in agriculture. – 2019. – Vol. 6. – P. 204-207.
133. Чома Дж., Клоске М. Открытие и внедрение импрегнированных актов / Дж. Чома и М. Клоске // Ochrona Srodowiska. – 1999. – Vol. 2. – №. 17. – P. 3-17.
134. Виды топлива для твёрдо топливных котлов и сравнительная таблица их теплотворной способности [Электронный ресурс] [Электронный ресурс] — URL: <https://neftegaz.ru/science/Oborudovanie-uslugi-materialy/331575-vidy-topliva-dlya->

обращения: 01.09.2022).

135. Родионов А.И. Технологические процессы экологической безопасности / А.И. Родионов, В.Н. Клушин и В.Г. Систер, Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с.

136. Кобзарь И.Г. Процессы и аппараты защиты окружающей среды / И.Г. Кобзарь и В.В. Козлова, Ульяновск :УлГТУ, 2007. – 68 с.

137. Каталог фирмы Honeyway «Вита Эко» [Электронный ресурс] — URL: <https://www.c-o-k.ru/companies/vita-eko> (дата обращения: 23.05.2022).

138. Тимонин А. С. Инженерно-экологический справочник. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003, т. 1. – 917 с. т. 2. – 884 с. т. 3. –1024 с.

139. Патент RU2237013C1 Российская Федерация, МПК C01B 31/08, № 2003105506/15: заяв. 27.02.2003. Опбли. 27.09.2004; Способ приготовления активированного угля из растительного сырья / К.Б. Хоанг, В.С. Тимофеев, О.Н. Темкин [и др.]. Заявитель: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательская группа Ренари».

140. Патент RU2323878C1 Российская Федерация, МПК C01B 31/08, № 2006128119/15, заяв. 02.08.2006. Опубли. 10.05.2008 бюл. № 13. Способ получения активного угля / М.М. Чемерис, Беушев А.А. и Д.Ф. Карчевский. Заявитель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

141. Патент RU2154603C1 Российская Федерация, МПК C01B 31/08,31/10, № 99102933/12, заяв. 15.02.1999. Опубли. 20.08.2000. Способ получения активного угля. Т.Н. Поборончук, В.С. Петров и Л.П. Рубчевская. Заявитель: Сибирский государственный технический университет.

142. Патент RU2329948C1 Российская Федерация, МПК C01B 31/08, B01J 20/20, № 2007103696/15, заяв. 30.01.2007. Опубли. 27.07.2008. Бюлл. № 21. Способ получения окисленного угля из растительного сырья для очистки сточных вод от ионов меди / Л. Н. Адеева и М. В. Одинцова. Заявитель: Государственное образовательное

учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского».

143. Патент RU2077477C1 Российская Федерация, МПК C01B 31/08, № 5036002/25, заяв. 20.03.1992. Оpubл. 20.04.1997. Способ получения активированного угля / Г.К. Ивахнюк, А.О. Шевченко, О.Э. Бабкин и [др.]. Заявитель: Акционерное общество закрытого типа «Экофор».

144. Активированный уголь: оборудование для производства активированного угля [Электронный ресурс] — URL: https://www.v-hold.ru/katalog/mini_zavody/proizvodstvo_uglya1/ (дата обращения: 09.09.2018).

145. Носкова А.С. Промышленный катализ в лекциях, Под ред.— М.: Калвис, 2007. — 128 с.

146. Шулепов С.В. Физика углеграфитовых материалов. — М.: Металлургия, 1972. — 254 с.

147. Лугвищук Д.С. Парциальное окисление природного газа как способ получения углерода с луковичной структурой. Автореферат диссертации к.т.н. М.: 2021. — 16 с.

148. Самонин В. В. Материалы на основе фуллеренов для комплексной очистки воды / Никонова В.Ю., Спиридонова Е.А. и др. // Энергосбережение и водоподготовка. — 2006. — № 6. — С. 34-37.

149. Самонин В.В. Сорбирующие материалы, изделия, устройства и процессы управляемой адсорбции / В.В. Самонин, М.Л. Подвязников, В.Ю. Никонова и др. // СПб.: Наука. — 2009. — 271 с.

150. Самонин В.В. Влияние введения фуллеренов в воду на ее поглотительную способность по отношению к органическим соединениям / В.В. Самонин, Е.А. Спиридонова, А.Д. Тихомирова и др. // Альтернативная энергетика и экология. — 2014. — № 19. — С. 63–69.

151. Самонин В.В. Исследование сорбционных и бактерицидных свойств углеродных адсорбентов и фуллеренов / В.В. Самонин, Е.А. Спиридонова, М.Л. Подвязников и др // Журнал прикладной химии. — 2014. — Т. 87. — вып. 7. — С. 994–997.

152. Самонин В.В. Сорбционные технологии защиты человека, техники и окружающей среды / М.Л. Подвязников, Е.А. Спиридонова и В.В. Самонин // С-Пб. Наука. – 2021. – 531 с.
153. International development association [Электронный ресурс] — URL: <https://www.worldbank.org/en/news/loans-credits/2020/06/26/myanmar-national-food-and-agriculture-system-project> (дата обращения: 28.01.2025)
154. Myanmar strategic directions for industrial development summary of industrial development strategy 2017 [Электронный ресурс] — URL: https://www.unido.org/sites/default/files/2017-06/_F_MYANMAR_SD_2017_0.pdf#:~:text=The%20vision%20of%20the,the%20importance%20of%20export (дата обращения: 28.01.2025)
155. Рынок активированного угля 2022: отраслевые тенденции, области применения, движущие силы, ограничения, возможности, угрозы, глобальный анализ и прогноз роста до 2027 года [Электронный ресурс] — URL: <https://www.nextmsc.com/report/activated-carbon-market> (дата обращения: 12.06.2022).
156. Statista [Электронный ресурс] — URL: <https://www.statista.com/statistics/963555/global-market-volume-activated-carbon/> (дата обращения: 06.08.2023).
157. Activated Carbon Exports from India to Myanmar – Market Sizen & Demand based on Export Trade Data, Volza growth global, [Электронный ресурс] — URL: <https://www.volza.com/p/activated-carbon/export/export-from-india/cod-myanmar/> (дата обращения: 24.01.2025).
158. Innova cooperate India [Электронный ресурс] — URL: <https://www.activatedcarbongranular.com/Myanmar/index.html> (дата обращения: 25.01.2025)
159. Magdalena B. Activated carbon from agricultural wastes for adsorption of organic pollutants / B. Magdalena, D.M. Anna, C. Barbara and etc. // Molecules. – 2020. – Vol. 25. – № 5105. – С. 4-35.

160. Muhajir M.K. Potentials of agricultural wastes as the ultimate alternative adsorbent for cadmium removal from wastewater. A review / M.K. Muhajir, M. Said and C. Yonas // Scientific African. – 2021. – Vol. 13. – № e00934. – P. 1-14.
161. Mohammad M.S. Carbon based materials: a review of adsorbents for inorganic and organic compounds / M.S. Mohammad, G. Mehrorang, M. Sahar and A.L. Vellaisamy // Material advance. – 2021. – Vol. 2. – P. 598-627.
162. Maria de Fatima Salgado. Preparation of activated carbon from babassu rndocarpunder microwave radiation by physical activation. IOP conference series // Earth and Environmental Science, 2018? V. 105, hh. 1-13 [Электронный ресурс] — URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012116>. (дата обращения: 06.08.2018).
163. Саджади С.А. Эффективное удаление ртути из сточных вод активированным углём из отходов фисташковой древесины, полученным путём химической активации с использованием нового активирующего агента / Мохаммадзаде А., Тран Х.Н. и др. // Журнал окружающая среда. Управление. – 2018. – т. 223. – С. 1001–1009.
164. Гемицеллюлоза [Электронный ресурс] — URL: <https://xumuk.ru/organika/386.html> (дата обращения: 12.01.2023).
165. Литвинов М. Укрошение лигнина / Химия и жизнь. – 2006. – № 2. – С. 1-5.
166. Ореховая скорлупа [Электронный ресурс] — URL: <https://ru. Bdcinternational.com/products/nutshellsореховаяскорлупа/#:~:text=Ореховая%20скорлупа%20%20это%20продукт%2C%20полученный,и%20ликвидации%20утечек%20бурового%20раствора>. (дата обращения: 16.11.2022).
167. Активированный уголь: производство из косточек фруктов, опилок, отходов с/х. [Электронный ресурс] — URL: http://www/asia-business.ru/torg/mini-factory/coal/activated/activated_1147.html. (дата обращения: 27.11.2021).
168. Гафаров И.Г. Способ приготовления активированного угля из растительного сырья / И.Г. Гафаров, О.Н. Темкин., В.С. Тимофеев и К.Б. Хоанг, Патент RU №2237013.
169. Голубев В.П. Способ получения активного угля из косточек плодов и скорлупы орехов / В.П. Голубев, В.М. Мухин, А.Н. Тамамьян и др. Патент РФ № 2111923 от 27.05.1998.

170. Наши технологии. Ш. Технология получения активированного угля из скорлупы кедрового ореха [Электронный ресурс] — URL: <http://xantib.narod.ru/katalog.htm> (дата обращения: 08.06.2021).
171. Беляев Е. Ю. Получение и применение древесных активированных углей в экологических целях // Химия растительного сырья, 2000, № 2, с. 5–15.
172. Багоев А.В. Получение активных углей из скорлупы кедрового ореха / А.В. Багоев, И.А. Лебедев, Д.Ф. Карчевский и др. // Ползуновский вестник. – 2013. – № . – С. 282–284.
173. Карчевский Д.Ф. Способ получения активного угля / Д.Ф. Карчевский, М.М. Чемерис и А.А. Беушев, Патент РФ № 2323878 от 10.05.2008. Билл. № 13.
174. Производство активированного угля: исходный материал и этапы изготовления [Электронный ресурс] — URL: <https://oskada.ru/obrabotka-i-ochistka-vody/proizvodstvo-aktivirovannyx-uglej-isxodnyj-material-i-etapy-izgotovleniya.html> (дата обращения: 18.04.2022).
175. Arvind Kumar. Preparation and characterization of high surface area activated carbon from Fox nut (*Euryale ferox*) shell by chemical activation / Arvind Kumar and Hara Moxan Jena. // Result in physis. – 2016. – Vol. 6. – P. 651-658.
176. Ramirez A.P. Production and characterization of activated carbon from wood wastes / A.P. Ramirez, S. Giraldo, M. Ulloa // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 935 (2017) 012012.
177. Arvind K. High surface area microporous activated carbons prepared from Fox nut (*Euryale ferox*) shell by zinc chloride activation / Arvind K. and Jena H.M. // Applied surface science. – 2015. – DOI:10.1016/j.apsusc.2015.08.074.
178. Kundu A. Taguchi optimization approach for production of activated carbon from phosphoric acid impregnated palmkernel shell by microwave heating / A. Kundu, B.S. Gupta, M.A. Hashim and etc. // Journal of Cleaner Production. – 2015. – Vol. 105. – №15. – P. 420-427.
179. Kadirvelu K. Removal of heavy metals from industrial wastewaters by adsorption on to activated carbon prepared from an agricultural solid waste / K. Kadirvelu, K.

Thamaraiselvi, C. Namasivayam // Bioresource Technology. – 2001. – Vol. 76. – Issue 1. – P. 63-65.

180. Feng-Chin Wu. Comparisons of porous and adsorption properties of carbons activated by steam and KOH / Feng-Chin Wu, Ruling tseng, Ruey-Shin Juang // Journal of Colloid and Interface Science. Carbon. – 2010. – Vol. 48. – Issue 11. – P. 3157-3168.

181. Синтез и характеристика активированного угля из отходов листьев финикового дерева Саудовской Аравии [Электронный ресурс] — URL: <http://www.ipcbee.com/vol20/5-ICBEE2011E010.pdf> (дата обращения: 22.09.2020).

182. Алпатова Н.В. Выделение фитостеролов и токоферолов из отходов переработки растительных масел / Н.В. Алпатова и Е.О. Герасименко // Химия и технология растительных веществ. XIII международная научная конференция – Сыктывкар, – 2024. – С. 10-11.

183. Камбарова Г.Б., Сартова К.А., Сарымсаков Ш.С. Получение углеродных адсорбентов из отходов хлопчатника // Вестник КГУ им. И. Арабаева, Бишкек, 2011, с. 72-77.

184. Сартова К.А. Исследование отходов хлопчатника (gossypium) с целью получения активных углей / Камбарова Г. Б., Сарымсаков Ш., Боркочев Б. М. , Салиева К. Т. // Проблемы современной науки и образования № 12 (54), 2016. - С.31-34.

185. Бамбуковый уголь [Электронный ресурс] — URL:<http://www.bamboopro.ru/charcoal/html> (дата обращения: 03.07.2022).

186. Получение и применение древесных активированных углей в экологических целях [Электронный ресурс] — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-i-primeneniye-drevesnyh-aktivirovannyh-ugley-v-ekologicheskikh-tselyah/viewer> (дата обращения: 14.09.2018).

187. Hameed B.H. Adsorption of methylene blue on to bamboo-based activated carbon: Kinetics and equilibrium studies / B.H. Hameed, A.T. Din, A.L. Ahmad // Journal of Hazardous Materials. – 2007. – Vol. 141. – P. 819–825.

188. Эковатт: Метод получения угля из биоотходов [Электронный ресурс] — URL: <http://www.greenwatt.ru/hydrocarbons/ug> (дата обращения: 12.01.2023).

189. Загрутдинов Р.Ш. Способ производства сорбента на биоугольной основе и тепловой энергии из лузги подсолнечника и установка для его реализации. / Р.Ш. Загрутдинов и Л.М. Литвиненко, Патент РФ № 2763291, опубл. 28.12.2021. Бюлл. № 1.
190. Кастельянос К.М. Адсорбционная очистка сточных вод от органических веществ и ионов тяжёлых металлов активным углём, полученным из моею. 165. Автореферат дисс. к.т.н. М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1983. –17 с.
191. Tawan C. Preparation of Activated Carbon from Sugarcane Bagasse Waste for the Adsorption Equilibrium and Kinetics of Basic Dye / C. Tawan , J. Pannatda and C. Duangdao / Key Engineering Material. – 2017. DOI:[10.4028/www.scientific.net/KEM.751.671](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.751.671)
192. Активный уголь [Электронный ресурс] — URL: <https://chemsystem.ru/catalog/386> (дата обращения: 14.09.2022).
193. Сыч Н.В. Сорбция ионов тяжелых металлов активными углями, полученными химическим активированием кизиловой косточки / Н.В. Сыч., С.И. Трофименко, В.М. Викарчук и др. // Химия, физика в технологии поверхности. – 2011. – Т. 2. – № 2. – С. 213-218.
194. Саджади С.А. Эффективное удаление ртути из сточных вод активированным углём из отходов фисташковой древесины, полученным путём химической активации с использованием нового активирующего агента / С.А. Саджади, А. Мохаммадзаде, Х.Н. Тран и др. // Окружающая среда, 2018, том 223, с. 1001–1009.
195. Daniel C.W. Production of activated carbon from wood waste by chemical activation technique and its application to industrial wastewater treatment [Электронный ресурс] — URL: <http://ev.hkie.org.hk/Upload/Doc/b7036f24-6207-4d08-b15a-89da561eb720Production%20of%20Activated%20Carbon%20from%20Wood%20Waste%20by%20Chemical%20Activation%20Technique%20and%20its%20Application%20to%20Industrial%20Wastewater%20Treatment.pdf> (дата обращения: 06.02.2019).
196. Metin Açıkyıldız, Preparation and characterization of activated carbon from plant wastes with chemical activation/ Ahmet Gürses, Semra Karaca // Microporous and Mesoporous Materials – 2014. – Vol. 198. – P. 45-49.

197. Yong Zhou. Removal of organic pollutants from aqueous solution using agricultural wastes: A review / Yong Zhou, Lei Zhang and Zhengjun Cheng // *Journal of Molecular Liquids*. – 2015. – Vol. 212. – P. 739-762.
198. Saeedeh Hashemian. Abstract. Preparation of activated carbon from agricultural wastes (almond shell and orange peel) for adsorption of 2-pic from aqueous solution / Saeedeh Hashemian, Khatereh Salari, Zahra Atashi Yazdi // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. – 2014. – Vol. 20. – Issue 4. – P. 1892-1900.
199. Alslaibi T.M. A review: Production of activated carbon from agricultural by products via conventional and microwave heating / T.M. Alslaibi, I. Abustan, M.A. Ahmad etc // *Journal of Chemical Technology and Biotechnonology*. – 2013. – Vol. 88. – № 7. – P. 1183-1190 [Электронный ресурс] — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jctb.4028> (дата обращения: 14.03.2019).
200. Митракова Т.Н. Использование сорбентов из растительных отходов для очистки сточных вод от ионов меди (II) / Т.Н. Митракова, Е.Ф. Лозинская, К.Б. Хоанг и др. // *Вода: химия и экология*. – 2015. – № 12. – С. 56-63.
201. Мухин В.М. Получение активных углей из первичных отходов сельскохозяйственных культур и перспективы их применения / В.М. Мухин, А.А. Курилкин, Н.Л. Воропаева // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2015. – Т. 29. – № 8 (167). – С. 96–98.
202. Zaharaddeen N. Garba. Evaluation of optimal activated carbon from an agricultural waste for the removal of para– chlorophenol and 2,4– dichlorophenol / N. Garba. Zaharaddeen, Afidah Abdul Rahim // *Process safety and environmental protection*. – 2016. – Vol. 102. – P. 45– 63.
203. Muthanna J. Ahmed. Application of agriculturally based activated carbons by microwave and conventional activations for basic dye adsorption: Review / J. Ahmed Muthanna // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2016. – Vol. 4. – Issue 1. – P. 89– 99.
204. Muthanna J. Ahmed. Preparation of activated carbons from date (*Phoenix dactylifera* L.) palm stones and application for wastewater treatments: Review / J. Ahmed Muthanna // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2016. volume 102. – P. 168– 182.

205. Hasan Saygılı. High surface area mesoporous activated carbon from tomato processing solid waste by zinc chloride activation: process optimization, characterization and dyes adsorption / Saygılı Hasan, Güzel Fuat // Journal of Cleaner Production, – 2016. – Vol. 113. – P. 995– 1004.
206. George Z. Kyzas. Activated carbons produced by pyrolysis of waste potato peels: Cobalt ions removal by adsorption / Z. Kyzas George, A. Deliyanni Eleni, A. Kostas Matis // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2016. – Vol. 490, – P. 74– 83.
207. Yili Li. Preparation and analysis of activated carbon from sewage sludge and corn stalk / Li Yili, Li Yanling, Lietc Liping // Advanced Powder Technology, – 2016. – Vol. 27. – Issue 2. – P. 684– 691.
208. Григорьев Л.Н. Получение активного угля из растительных остатков и оценка его адсорбционных свойств / Л.Н. Григорьев , Л.Г. Веренцова, О.А. Шанова // Химия растительного сырья. – 2015. – № 4. – С. 93–99.
209. Tan I.A.W. Adsorption isotherms, kinetics, thermodynamics and desorption studies of 2,4,6– trichlorophenol on oil palm empty fruit bunch– based activated carbon / I.A.W. Tan, A.L. Ahmad, B.H. Hameed // Journal of Hazardous Materials, – 2010. – Vol. 101. – Issue 14. – P. 5070–5075.
210. Ротанг [Электронный ресурс] — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ротанг> (дата обращения: 16.12.2020).
211. Hameed B.H. Adsorption of basic dye (methylene blue) on to activated carbon prepared from rattansawdust / B.H. Hameed, A.L. Ahmad, K.N.A. Latiff // Chemical Engineering Journal. – 2011. – Vol. 172. – Issue 1. – P. 326–334. (дата обращения 10.02.2023)
212. Yahya Mohd Adib. Agricultural bio – waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review / Mohd Adib Yahya, Z. Al–Qodah, C.W. Zanariah Ngah // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Vol. 46, – P. 218–235.

213. Akpen G.D. Optimum condition of color removal from wastewater by mangoseedshell based activated carbon / G.D. Akpen, I.L. Nwaogazie, T.G. Leton // Indian Journal of Science and Technology. – 2011. – Vol. 4. – No. 8. – P. 890–894.
214. Akpen G.D. Adsorption characteristics of mango (*Mangifera indica*) seed shell activated carbon for removing phenol from wastewater / G.D. Akpen, I.L. Nwaogazie, T.G. Leton // Journal of Applied Science and Technology. – 2014. – vol. 19. – № 1 и 2, – P. 43–48.
215. Tikaram K. Application of *Mangifera indica* seed shell for effective adsorption of Fe(II) and Mn(II) from aqueous solution / K. Tikaram, G. Ashok, Namdeo M. , G. Barupa // Environmental Engineering and Management Journal. – 2015. – Vol.14. – P. 919-924.
216. Rai M.K. Preparation and characterization of activated carbon from mango seed kernel for heavy metal removal from aqueous solution / M.K. Rai, G. Shahi, V. Meena // Department of Chemical Engineering & Technology, IIT (BHU), Varanasi, 221005 (U.P), India. – 2015. – P.1-6. (дата обращения 03.03.2022)
217. Shashikant R. Mise. Adsorption studies of colour removal by activated carbon derived from *mangifera indica* (mango) seed shell / R. Mise Shashikant, G. Jagannath Smita // International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 2(13). – P. 325–328. DOI: [10.15623/ijret.2013.0213060](https://doi.org/10.15623/ijret.2013.0213060) (дата обращения 16.11.2022)
218. Pandharipade S.L. Synthesis of Adsorbents From Waste Materials Such As Ziziphus Jujube Seed & Mango Kernel / S.L. Pandharipade, Yogesh Moharkar, Raj Thakur // International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). – 2012. – Vol. 2. – Issue 4. – P.1337–1341.
219. Юнусов М.П. Сорбционные свойства активного угля, полученного из хлопкового лигнина, и его применение для очистки воды от органических веществ / М.П. Юнусов, И.В. Перездриенко, У.Т. Умаров // Химия и технология воды, – 2001. – № 6. – С. 607–611.
220. Иоанниду О., Забаниоту А. Сельскохозяйственные отходы как прекурсоры для производства активированного угля / О. Иоанниду, А. Забаниоту // Обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии. – 2007. № 11. – С. 1966–2005.

221. Dipas D. Preparation of Activated Carbon from Green Coconut Shell and its Characterization / D. Dipas, P.S. Debi B.C. Meikap // Journal of Chemical Engineering & Process Technology. – 2015. – Vol. 06(05). – P. 2-6.
222. Anirudhan T.S. Adsorptive removal of heavy metal ions from industrial effluents using activated carbon derived from waste coconut buttons / T.S. Anirudhan, S.S. Sreekumari // Journal of Environmental Sciences. – 2011. – Vol. 23. – №. 12, – P. 1989–1998.
223. Кудайбергенов К.К. Разработка и изучение карбонизованных сорбентов для очистки воды от нефтяных загрязнений. / К.К. Кудайбергенов // Дисс. доктора философии (6D060600 – Химия), Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, – 2012. – 101с.
224. Khalil L.B. Adsorption characteristics of activated carbon obtained from rice husks by treatment with phosphoric acid / L.B. Khalil // Adsorpt. Sci. and Technol. – 1996. – Vol. 13. – № 5, – P. 317–325.
225. Со Вин Мьинт. Характер трансформации элементного состава целевых продуктов переработки кожуры плодов тамаринда на углеродные адсорбенты / Со Вин Мьинт, А.В. Нистратов, В.Н. Клушин // Сб. трудов III Всероссийской студенческой конференции с международным участием «Геология: теория и практика». М., 19– 20.11.2021, – С. 541–550.
226. Кедельбаев Б.Ш. Исследование процесса получения полисахаридов из гуза-пай / Б.Ш. Кедельбаев, А.М. Есимова, З.К. Нарымбаева // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 10. – С. 27–28.
227. Сербина Т.В. Разработка технологии активных углей из гуза-пай (отхода хлопчатника) / Т.В. Сербина // Автореферат дисс. к.т.н., М.: – 1993. – 15 с.
228. Sahu J.N. Optimization of lead (II) sorption potential using developed activated carbon from tamarind wood with chemical activation by zincchloride / J.N.Sahu, Jyotikusum Acharya, B.K. Sahoo // Desalination and Water Treatment. – 2016. – Vol. 57 (5). – P. 2006– 2017.

229. Ilyas Mohammad. Thermodynamic and Kinetic Studies of Chromium (VI) Adsorption by Sawdust Activated Carbon / Mohammad Ilyas, Nadir Khan, Qamar Sultana // [Journal Chemical Society of Pakistan](#). – 2014. – Vol. 36 (6), – P. 1003– 1012.
230. Treviño– Cordero H. Synthesis and adsorption properties of activated carbons from biomass of *Prunus domestica* and *Jacaranda mimosifolia* for the removal of heavy metals and dyes from water / H. Treviño– Cordero, L.G. Juárez– Aguilar, D.I. Mendoza– Castillo etc. // [Industrial Crops and Products](#). – 2013, – P. 315–323.
231. Жакаранда [Электронный ресурс] — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Жакаранда> (дата обращения: 17.09.2023).
232. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров // М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.
233. Справочник химика в 6 т. Л.: Химия. – 1966. – Т. 5. – 974 с.
234. Тимофеев Д. П. Кинетика адсорбции / Д. П. Тимофеев // М.: Наука, 1962. – 250с.
235. Кировская И.А. Адсорбционные процессы / И.А. Кировская // – Иркутск: Изд– во Иркутского университета, – 1995. – 304 с.
236. Изотермы адсорбции [Электронный ресурс] — URL: <https://studfile.net/preview/7793529/page:16/> (дата обращения: 22.11.2022).
237. Тимонин А. С. Инженерно– экологический справочник. / А. С. Тимонин // Том 1. Калуга: изд– во Н. Бочкаревой, – 2003. – 917 с.
238. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского // М.: Альянс, – 2008. – 493 с.
239. Адсорберы [Электронный ресурс] — URL: <https://studfile.net/preview/3166854/> (дата обращения: 25.12.2022).
240. Устройство и принцип действия адсорберов [Электронный ресурс] — URL: <https://studref.com/385610/tehnika/ustroystvoprintsipdeystviyaadsorberov> (дата обращения: 25.12.2022).

241. Рачинский В.В. Введение в общую теорию динамики сорбции и хроматографии. / В.В. Рачинский //— М.: Наука. — 1964. — 136 с.
242. Динамика адсорбции. Уравнение Шилова. [Электронный ресурс] — [URL:https://poznayka.org/s109581t2.html](https://poznayka.org/s109581t2.html) (дата обращения: 18.01.2023).
243. Определение времени и коэффициента защитного действия слоя адсорбента [Электронный ресурс] — URL:<https://megalektsii.ru/s30465t7.html> (дата обращения: 18.01.2023).
244. Activated carbon supplier in Myanmar [Электронный ресурс] — URL: <https://www.westerncarbon.com/activated-carbon-manufacturer-inmyanmar.html#:~:text=%2D%20The%20healthcare%20industry,provide%20protection%20against%20toxic> (дата обращения: 18.07.2025)
245. Myanmar: Activated Carbon Market 2025 [Электронный ресурс] — : <https://www.indexbox.io/store/myanmar-activated-carbon-market-analysis-forecast-size-trends-and-insights/> (дата обращения: 18.07.2025)
246. Осокин В.М. Исследования по получению новых сорбентов из растительного сырья для очистки воды / В.М. Осокин, В.А. Сомин // Ползуновский вестник, — 2013. — № 1. — С. 280– 282.
247. Габрук Н.Г. Получение, активация и модификация углеродного материала из скорлупы грецкого ореха / Н.Г. Габрук, И.И. Олейникова, Т.А. Шутеева // Научные ведомости. Серия Естественные науки, — 2013. — № 7(160). — выпуск 24. — С. 114– 116.
248. Отходы чистят воду [Электронный ресурс] — URL: https://vk.com/wall-171766312_17036?ysclid=lulmg53di665403635 (дата обращения: 04.04.2024)
249. Pirsheba M., Preparation of the activated carbon from India shrub wood and their application for methylene blue removal: modeling and optimization / M. Pirsheba, Z. Rezaib, A.M. Mansouria, Rastegard, A. Alahabadid, A. Rahmani Sanid, K. Sharafi // Desalination and Water Treatment. — 2016. — Vol. 57. — P. 5888-5902.
250. Агабеков Е. Источники сырья и топлива: сб. науч. тр. / Е. Агабеков, К. Н. Гусак, Ж. В. Игнатович // Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т химии новых материалов; науч. ред. В. — Минск: Беларуская навука, — 2014. — Вып. 1. — 281 с. ISBN 978-985-08-1728-0.

251. Холомейдик А.Н. Получение, состав и свойства кремний и углеродсодержащих продуктов переработки плодовых оболочек риса. / А.Н. Холомейдик // Дисс. к.х.н. Владивосток, – 2016. – 136 с.
252. Елецкий П. М. Синтез и исследование углерод– кремнезёмных нанокompозитов, мезо– и микропористых углеродных материалов из высокозольной биомассы. / П. М. Елецкий // Дисс. к.т.н. Новосибирск, – 2009. – 115 с.
253. Типы древесины и классификация пород [Электронный ресурс] — URL: <https://lenwood.ru/articles/typy-drevesiny/> (дата обращения: 18.11.2022).
254. Активированные (активные) угли на древесной основе [Электронный ресурс] —URL:<https://rospolimer.ru/produktsiya/himicheskoe-syre/aktivirovannye-aktivnye-ugli/aktivirovannye-aktivnye-ugli-na-drevesnoj-osnove/> (дата обращения: 22.05.2020).
255. Сорта и свойства манго [Электронный ресурс]] — URL: <https://www.activestudy.info/sorta-i-svoystva-mango/> (дата обращения: 01.04.2018).
256. Манго [Электронный ресурс] — URL: <https://old.bigenc.ru/agriculture/text/2156461> (дата обращения: 01.04.2018).
257. Тамаринд [Электронный ресурс] — URL: <https://fb.ru/article/171447/tamarind-cto-eto-takoe-poleznyie-svoystva-tamarinda> (дата обращения: 19.02.2020).
258. Tamarind [Электронный ресурс] — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тамаринд> (дата обращения: 19.02.2023).
259. Sumrit M. Characterization and Properties of Activated Carbon Prepared from Tamarind Seeds by KOH Activation for Fe(III) Adsorption from Aqueous Solution [Электронный ресурс] — URL:<https://doi.org/10.1155/2015/415961> (дата обращения: 09.09.2022).
260. Клушин В.Н. Перспективные решения в области переработки каменноугольного сырья и производственных отходов на активные угли / В.Н. Клушин, Н.П. Зубахин, К.Г. Старостин //Сб. материалов X Международной научно–практической конференции «Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии», М.: ФГУП «Институт «Гинцветмет». – 2014. – С. 26–30.
261. Со Вин Мьинг. Растительные отходы Республики Союз Мьянма как сырье для получения наноструктурированных адсорбентов / Со Вин Мьинг, Си Тху Аунг, В.Н.

- Клушин // Труды всероссийской молодежной конференции «Химическая технология функциональных наноматериалов», М., РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2015. – Т. 29. – № 9. – С. 187–189.
262. Древесина. Химическая энциклопедия. / Древесина // М.: Советская энциклопедия, – 1988. – Т. 2. – С. 116–117.
263. Козлов В.Н. Пиролиз древесины / В.Н. Козлов // – Издательство АН СССР, М.: 1052. – 283 с.
264. Gina San Andres. Morphological, physical, and chemical characterization of coconut residues in Ecuador / Gina San Andres, Sara Aguilar-Sierra, Bernardo Graziella // Heliyon. – 2023. – Vol. 9. – № e19267. – P. 1-9.
265. Скорлупа кокоса [Электронный ресурс] — URL:<https://prokokos.ru/coconutshell?ysclid=lueg471sw3380504323> (дата обращения: 20.12.2019).
266. Клушин В.Н. Оценка качества отходов переработки риса и кокосовых орехов в республике Мьянма как сырья для производства активных углей / В.Н. Клушин, А.В. Нистратов, Со Вин Мьинт // Химическая промышленность сегодня. – 2016. – № 2. – С. 20–25.
267. Сергиенко В. И. Возобновляемые источники химического сырья: комплексная переработка отходов производства риса и гречихи. / В. И. Сергиенко, Л. А. Земнухова, А.Г. Егоров // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2004. – Т. XLVIII. – № 3. – С. 116–124.
268. Перспективные методы переработки рисовой лузги [Электронный ресурс] — URL:http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=6216 (дата обращения: 21.12.2022).
269. О нас (ООО «Экокремний») [Электронный ресурс] — URL:<http://kovelos.ru/> (дата обращения: 15.03.2022).
270. Разработана новая технология утилизации отходов рисового производства [Электронный ресурс] — URL:<http://sibac.info/12770> (дата обращения: 11.12.2022).
271. Теплоизоляционные композиты на основе рисовой шелухи [Электронный ресурс]. — URL: <https://ztbo.ru/o-tbo/lit/problemi-rekultivacii-otxodov/>

- teploizolyatsionnye-kompozity-na-osnove-risovoj-shelukhi (дата обращения: 17.01.2022).
272. Химический состав древесины [Электронный ресурс] — URL: <http://www.drevesinas.ru/woodstructura/chemical/1.html> (дата обращения: 11.11.2022).
273. Физико-химические свойства древесины [Электронный ресурс] — URL: <https://health.totalarch.com/bathhouse/5/6/2> (дата обращения: 13.08.2024).
274. Наинг Линн Сое. Термографическое исследование отходов производства мебели / Со Вин Мьинт, Зин Мое, Наинг Линн Сое // Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – Т. XXX. – № 9(178). – С. 67–69.
275. Наинг Линн Сое. Оценка древесных отходов Республики Союз Мьянма как сырья для производства активных углей парогазовой активацией / Со Вин Мьинт, Наинг Линн Сое, Зин Мое // Сб. статей н/пр. конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017» 11– 15.09.2017. Севастополь, – 2017, – С. 948–953.
276. Зин Мое. Анализ процессов термической и термоокислительной деструкции отходов консервирования плодов манго / Со Вин Мьинт, Наинг Линн Сое, Зин Мое // Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – Т. XXX. – № 9 (178). – С. 64–66.
277. Со Вин Мьинт. Термографическая оценка характера и рационального уровня термического воздействия на растительные отходы и их карбонизаты / Со Вин Мьинт, Наинг Линн Сое, Зин Мое // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – Т. XXXI. – № 9 (190). – С. 39–41.
278. Наинг Линн Сое. Оценка древесных отходов Республики Союз Мьянма как сырья для производства активных углей парогазовой активацией / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт // Научно– практическая конференция с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017», г. Севастополь, – 11–15.09. – 2017, – С. 948–953.
279. Мин Тху. Характер деструкции отходов переработки урожая слив и выращивания хлопчатника под воздействием температуры / Мин Тху, Мьят Мин Тху, Со Вин Мьинт и др. // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – Т. XXXI. – № 9 (190). – С. 42–44.

280. Сорокопудов В.Н. Элементный состав плодов и семян некоторых видов и сортов калины в условиях юго– запада среднерусской возвышенности / В.Н. Сорокопудов, И.С. Алдошкин, Д.А. Колесников и др. // Научные ведомости. Серия Естественные науки. – 2012. – № 21 (141). – вып. 21/1. – С. 132–135.
281. Со Вин Мьинт. Термический рециклинг растительных отходов Мьянмы с получением углеродных адсорбентов / Со Вин Мьинт, Наинг Линн Сое, Зин Мое // Башкирский химический журнал. – 2020. – Т. 27. – № 1. – С. 61–67.
282. Курилкин А.А. Способ получения высокочистого углеродного материала из растительных отходов / А.А. Курилкин, А.В. Нистратов, В.Н. Клушин, Со Вин Мьинт. // Chemical Bulletin. – 2023. – Т. 6. – № 4. – С. 43–53.
283. Характеристика сырья и готовой продукции при быстром пиролизе, 2013–2025 [Электронный ресурс] — URL: https://pirolizothodov.ru/bistriy_piroliz_produkti (дата обращения: 25.03.2025)
284. Chemical composition of cotton fibre, 2022 [Электронный ресурс] — URL: <https://textileengg.blogspot.com/2015/11/chemical-composition-of-cotton-fibre.html> (дата обращения: 01.04.2022).
285. Берг Л.Г. Введение в термографию. / Л.Г. Берг // М.: Наука, – 1969. – 395 с.
286. Уэндланд У. Термические методы анализа. / У. Уэндланд // М.: Мир, – 1979. – 526 с.
287. Топор Н.Д. Термический анализ минералов и неорганических соединений. / Н.Д. Топор, Л.Н. Огородова, Л.В. Мельчакова // М.: Изд– во МГУ им. М.В. Ломоносова, – 1987. – 190 с.
288. Со Вин Мьинт. Термографическое исследование отходов возделывания кокоса и риса в республике Мьянма / Со Вин Мьинт, Си Тху Аунг, В.Н. Клушин // Успехи в химии и химической технологии», М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2013. – Т. XXVII. – № 9. – С. 26–30.
289. Клушин В.Н. Оценка качества отходов переработки риса и кокосовых орехов в республике Мьянма как сырья для производства активных углей / В.Н. Клушин, А.В. Нистратов, Со Вин Мьинт // Химическая промышленность сегодня. – 2016. – № 2. – С. 20–25.

290. Мьят Мин Тху. Условия получения и технические характеристики углеродных адсорбентов на базе гуза– пай / Мьят Мин Тху, Мин Тху, Со Вин Мьинт и др. // III Всероссийская научная конференция «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов», Иваново– Плесс. – 2018, – С. 148–149.
291. Мьят Мин Тху. Гуза– пая как источник получения углеродных адсорбентов / Мьят Мин Тху, Мин Тху, Со Вин Мьинт и др. // Сб. статей по материалам международной научно– практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018» 24– 27.09.18 Севастополь: Сев. ГУ. – 2018, – С. 857–859.
292. Мин Тху. Технологические основы переработки отходов возделывания хлопчатника и консервирования сливы с получением активных углей / Мин Тху, Мьят Мин Тху, Со Вин Мьинт и др. // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. XXXII. – № 12. – С. 64–66.
293. Со Вин Мьинт. Возможное направление сокращения пожарной и экологической опасности, связанной с обращением с растительными отходами в Республике Союз Мьянма / Со Вин Мьинт, Наинг Линн Сое, Зин Мое и др. // Материалы II международной научно– практической конференции «Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения – 2018» (4– 5 октября 2018 г.) / под общ. ред. проф. Сухановой С.Ф. – Курган: Изд– во Курганской ГСХА, – 2018, – С. 121–124.
294. Мьят Мин Тху. Свойства зернёных адсорбентов, полученных на базе гуза– пай / Мьят Мин Тху, Мин Тху, Со Вин Мьинт и др. // Сборник статей международной научно– практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» 23–26 сентября 2019 г. Севастополь. Сев. ГУ. – 2019. – С. 1142–1146.
295. Наинг Линн Сое. Способность дисперсных отходов переработки растительного сырья в активные угли к фиксации плёночных нефтепродуктов / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Мин Тху и др. // Сборник статей международной научно – практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» 23–26 сентября 2019 г. Севастополь. Сев. ГУ. – 2019. – С.1152–1155.

296. Наинг Линн Сое. Углеродные адсорбенты на базе растительных отходов Мьянмы как средства очистки производственных выбросов и сбросов / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Мин Тху и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2019. – Т. 19. – № 5. – С. 574–581.
297. Наинг Линн Сое. Новые адсорбенты из растительных отходов Мьянмы для решения экологических задач / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт и др. // XV Международный конгресс по химии и химической технологии «МКХТ– 2019» Успехи в химии и химической технологии, М., РХТУ: – 2019. – Т. 33. – № 5. – С. 54–58.
298. Богданович Н.И. Теоретические основы термохимической активации технических лигнинов. / Н.И. Богданович, Г.В. Добеле, Л.Н. Кузнецова и др. // Тез. докл. IX Международной конференции по теоретическим вопросам адсорбции и адсорбционной хроматографии. – М.: ИФХ РАН. – 2001. – С. 1–25.
299. Guo Shenghuu. Effects of CO₂ activation on porous structures of coconut shell– based activated carbons / Shenghuu Guo, Jinhui Peng, Wei Li // Appl. Surface Sci. – 2009. – Vol. 255. – № 20. – P. 8443–8449.
300. Yang Kunbin. Приготовление активного угля из скорлупы кокосовых орехов с активацией диоксидом углерода / Kunbin Yang, Jinhui Peng, Hongying Xia // Tansu Carbon Tech. – 2010. – Vol. 29. – № 1. – P. 20–23.
301. Со Вин Мьинт. К оценке рациональных условий переработки на углеродные адсорбенты шелухи риса и скорлупы кокосовых орехов республики Мьянма // Со Вин Мьинт, Си Тху Аунг, Клушин В.Н. // Успехи в химии и химической технологии», М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2014. – т. XXVIII. – № 5. – С. 8–10.
302. Си Тху Аунг. Особенности деструкции рисовой шелухи – отхода предприятий Республики Союз Мьянма и ее карбонизата / Си Тху Аунг, Со Вин Мьинт, Клушин В.Н. // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – том XXXI. – № 9 (190). – С. 30–41.
303. Данг Нян Тхонг. Способ получения активированного угля и диоксида кремния из рисовой шелухи [Электронный ресурс]. — URL: <https://sci-article.ru/stat.php?i=1408911852> (дата обращения: 22.02.2022).

304. Биосорбенты на основе карбонизированных абрикосовых косточек и рисовой шелухи. [Электронный ресурс] — URL: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429428647-3/biosorbents-based-carbonized-apricot-stones-rice-busk-arkhat-kurmanbekov-azhar-zhubanova-zulkhair-mansurov> (дата обращения: 07.02.2022).
305. Абдуллин И.Ш., Ибрафиллов И.Х., Шаехов М.Ф., Активация сорбентов на основе рисовой лузги и гречневой шелухи с использованием высокочастотного разряда пониженного давления. [Электронный ресурс]. — URL: <http://main.isuct.ru/files/konf/ISTAPC2005/proc/4-5.pdf> (дата обращения: 10.12.2022).
306. Экоэнергия. Новейшие эффективные технологии и оборудование переработки биомассы. [Электронный ресурс]. URL: — http://www.ecology-energy.ru/technology/adsorbent_production/ (дата обращения: 16.12.2022).
307. Наинг Линн Сое. Анализ процессов термической и термоокислительной деструкции отходов консервирования плодов манго / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт и др. // Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – Т. XXX. – № 9 (178). – С. 64–66.
308. Kavyashree A.K. Colour Removal Studies on Silk Filature Composite Wastewater / Kavyashree A.K, Shahshikant R.M. // International Journal for Scientific Research&Development. – 2016. – Vol. 3. – P.1–3.
309. Ilyas Mohammad. Thermodynamic and Kinetic Studies of Chromium (VI) Adsorption by Sawdust Activated Carbon / Ilyas Mohammad, Khan Nadir, Sultana Qamar. // [Journal Chemical Society of Pakistan](#). – 2014. – V. 36 (6). – P. 1003–1012.
310. H. Treviño–Cordero. Synthesis and adsorption properties of activated carbons from biomass of *Prunus domestica* and *Jacaranda mimosifolia* for the removal of heavy metals and dyes from water / H. Treviño–Cordero, L.G. Juárez–Aguilar, D.I. Mendoza–Castillo, V. Hernández–Montoya. // [Industrial Crops and Products](#). – 2013. – P. 315–323.
311. Omri Abdessalem. Characterization of activated carbon prepared from a new raw lignocellulosic material: *ziziphus spina-christi* seeds. / Omri Abdessalem, Benzina Mourad. // Journal de la Société Chimique de Tunisie. – 2012. – V. 1–4. – P. 175–183.

312. Pandharipade S.L. Synthesis of Adsorbents From Waste Materials Such As Ziziphus Jujube Seed & Mango Kernel / Pandharipade S.L., MoharkarYogesh, Thakur Raj. // International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). – 2012. – Vol. 2. – P. 1337–1341.
313. Мьят Мин Тху. Гуза–пая как источник получения углеродных адсорбентов / Мьят Мин Тху, Мин Тху, Со Вин Мьинт и др. // Сб. статей по материалам международной н/п конф. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018». – 2018. – С. 957–859.
314. Прядильные культуры [Электронный ресурс] — URL: <https://kanaty.ru/informatsiya/vidy-volokon/pryadilnye-kultury/> (дата обращения: 04.04.2022).
315. Бизнес–план «Переработка гуза–пай хлопчатника в Туркменистане» [Электронный ресурс] URL: — <https://www.megaresearch.ru/biznes-plany/selskoe-hozyaystvo/22537> (дата обращения: 14.03.2019).
316. Со Вин Мьинт. Термографическое исследование компонентов плодов тамаринда / Со Вин Мьинт, Жуков А.В., Клушин В.Н. // Междунар. н/пр. конф–я «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2020» – 2020. – С. 527–531.
317. Костюкевич Н.Г. Химия древесины и синтетических полимеров. Санкт Петербургская Государственная лесотехническая академия. – 2010. – 90 с.
318. Галушко Л.Я. Получение активированных углей из фруктовых косточек / Галушко Л.Я., Хазипов В.А., Пащенко Л.В. и др. // Химия твёрдого топлива. – 1998. — № 3. С. 33–37.
319. Найн Лин Сое. Исследование процесса окисления активного древесного угля кислородом воздуха. / Найн Лин Сое , Гиндулин И.К., Юрьев Ю.Л., Еранкин С.В., Петров Л.А. // Химия растительного сырья. – 2007. – № 4. С. 117–120.
320. Базарнова Н.Г. Химия древесины и её основных компонентов. Методическое пособие. – Алтайский Государственный университет. – Барнаул – 2002. – 49 с.
321. Минакова А.Р. Химия растительного сырья. / Минакова А.Р., Вураско А.В., Жвирблите А.К. // Методические указания и контрольные задани для самостоятельной работы студентов заочной формы обучения инженерно–

экологического факультета по специальности 240100 «Химическая технология и биотехнология» – Уральский Государственный лесотехнический университет, Екатеринбург. – 2011. – 23 с.

322. Смирнова А.И. Переработка и применение полимеров. Лигнины: получение, свойства, переработка / Смирнова А.И., Демьянцева Е.Ю. // Учебное пособие. – Санкт–Петербург, Санкт–Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. – 2021. – 97 с.

323. Кострюков С.Г. Определение лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы в растительных материалах с помощью ИК–фурье спектроскопии / Кострюков С. Г., Мать Якубов Х. Б., Мастерова Ю. Ю. и др. // Журнал аналитической химии. – 2023. – Т. 78. – № 6. – С. 496–506.

324. Количественное определение наличия целлюлозы и лигнина [Электронный ресурс] URL — : <https://chem21.info/info/1794017> (дата обращения: 11.06.2025)

325. Хабаров Ю.Г. Химическая переработка древесины // Лесной журнал, 2004, № 3, с. 86–102.

326. Samson O.A. Effective pretreatment of lignin-rich coconut wastes using a low-cost ionic liquid / O.A. Samson Kyra, L.S. Campbell , P.H. Jason // Scientific report. – 2022. – № 12. – P. 5–11.

327. Langsdorf A. Material utilization of green waste: a review on potential valorization methods / Langsdorf A. Volkmar M., Holtmann D., Ulber R. // Biosources and bioprocessing. – 2021. – № 19. P. 1–26.

328. Francis D. C. Taboada Effects of aqueous ethanol concentration and solid–to–liquid ratio in the extraction of organosolv lignin from mango / D.C. Francis, I. Dominic, F. Tabañag, Y.F. Camila, Y. Lobarbio, B. Evelyn // Science & Technology Asia. – 2021. – Vol. 26. – No. 2. – P. 34–45.

329. Shinnosuke Ishida. Multi–step pre–treatment of rice husk for fractionation of components including silica / Shinnosuke Ishida. Shinji Kudo, Shusaku Asano, Junichiro Hayashi. // Frontier in chemistry. – 2025. – Vol. 13. – P. 1–9.

330. B. Brailson Mansingha. Sustainable development in utilization of Tamarindus indica L. and its by–products in industries / B. Brailson Mansingha, J.S. Binoj, N. Prem Sai, Shukur

- Abu Hassan, Suchart Siengchin, M.R. Sanjay, Y.C. Liu. // Current Research in Green and Sustainable Chemistry. – 2021. Vol. 4. – № 100207. – P.1–14.
331. Valentin Popa I. Wood bark as valuable raw material for compounds with biological activity / Celuloză și Hârtie // “Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi, Faculty of Chemical Engineering and Environmental Protection. – 2015. – Vol. 64. – № 4. – P.1–13.
332. Xyliaxylocarpa. [Электронный ресурс] — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Xylia_xylocarpa (дата обращения: 22.06.2025)
333. Galeno A. Waste Rose Flower and Lavender Straw Biomass – An Innovative Lignocellulose Feedstock for Mycelium Bio–Materials Development Using Newly Isolated Ganoderma resinaceum GA1M / Galeno Angelova, Mariya Brazkova and etc. // Journal of Fungal Biotechnology and Application. – 2021. – Vol. 7(10). – № 866. P. 1–24.
334. Смола В.И. Защита атмосферы от двуокиси серы. / В.И. Смола, Н.В. Кельцев // М.: Металлургия. – 1976. – 256 с.
335. Мухин В.М. Получение активных углей из первичных отходов сельскохозяйственных культур и перспективы их применения / В.М. Мухин, А.А. Курилкин, Н.Л. Воропаева и др. // Успехи в химии химической технологии. – 2015. – т. 29. – № 8 (167). С. 96–98.
336. Açıkyıldız M. Preparation and characterization of activated carbon from plant wastes with chemical activation / M. Açıkyıldız, A. Gürses, S. Karaca // Microporous and Mesoporous Materials. – 2014. – Vol. 198. – P. 45–49.
337. Карабаева М.И. Основные направления использования отходов растительного сырья (скорлупа арахиса) в качестве адсорбентов (обзор) / М.И. Карабаева, С.Р. Марсалимова, Д.С. Сазаханова и др. // Химия растительного сырья. – 2022. – № 1. – С. 53–69.
338. Наинг Линн Сое. Термографическое исследование отходов производства мебели / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт и др. // Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – т. XXX. – № 9 (178). – с. 67–69.
339. Со Вин Мьинт К оценке рациональных условий переработки на углеродные адсорбенты шелухи риса и скорлупы кокосовых орехов республики Мьянма / Со Вин

Мьинт, Си Тху Аунг, Клушин В.Н. // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – Т. XXVIII. – № 5. – с. 8–10.

340. Мин Тху. Характер деструкции отходов переработки урожая слив и выращивания хлопчатника под воздействием температуры / Мин Тху, Мьят Мин Тху, Со Вин Мьинт и др. // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. Т. XXXI. – № 9 (190). – С. 42–44.

341. Ефремова С.В. Переработка рисовой шелухи с получением материалов полифункционального назначения / Ю.И. Сухарников, Л.В. Бунчук, С.А. Джусупов, А.С. Корабаев // РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», Алматы, Казахстан [Электронный ресурс] — URL: <https://waste.ua/cooperation/2008/theses/efremova.html> (дата обращения: 22.02.2023).

342. Патент № RU 2105714C1 Российская федерация, МПК C01B 31/10 B 01 J 20/20. Способ получения дроблёного активного угля: № 97103886/25: заявл. 12.03.1997: опублик. 27.02.1998; В.М. Мухин, И.Д. Зубова, В.П. Чумаков [и др]; заявитель Открытое акционерное общество "Электростальское научно-производственное объединение «Неорганика» (ОАО «Неорганика»).

343. Патент № RU 2222493C1 Российская федерация, МПК C01B 31/08. Способ получения активного угля: № 2002124700/15: заявл. 17.09.2002: опублик. 27.01.2004; Мухин В.М., Дворецкий Г.В., Чебыкин В.В. [и др]; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие "Электростальское научно-производственное объединение «Неорганика» (ОАО «Неорганика»).

344. Пиролиз древесины [Электронный ресурс] URL: <http://wood-prom.ru/clauses/derevoobrabotka/piroliz-drevesiny> (дата обращения: 17.04.2022).

345. Кузьмина Р.И. Пирогенетическая переработка некоторых древесных отходов и отходов лущения семян / Кузьмина Р.И., Штыков С.Н., Панкин К.Е. и др. // Химия растительного сырья. – 2010. – № 3. – С. 61–65.

346. Сухая перегонка древесины – в чем суть пиролиза? [Электронный ресурс] — URL: <https://bio.ukr.bio/ru/articles/2164/> (дата обращения: 18.04.2022).

347. Активный уголь из скорлупы кедрового ореха! [Электронный ресурс] — URL: <http://konspektiruem.ru/news/Aktivnyi-ugol-iz-skorlupy-kedrovogo-oreha/> (дата обращения: 23.04.2021).
348. Поборончук Т.Н. Способ получения активного угля. / Поборончук Т.Н., Петров В.С., Рубчевская Л.П. Патент РФ № 2154603.
349. Касьянов Г.И. Производство активного угля из скорлупы косточек плодовых культур и его регенерация. / Касьянов Г.И., Нематулаев И.Ф., Палагина И.А. и др. // Известия вузов. Пищевая технология. – 1996. – № 5–6. С. 59 – 87.
350. Current Trends in Chemical Engineering and Process Technology [Электронный ресурс] — URL: <https://www.gavinpublishers.com/journals/details/current-trends-in-chemical-engineering-and-process-technology> (дата обращения: 14.11.2023).
351. Patil Pragma . Preparation and Study of Properties of Activated Carbon Produced from Agricultural and Industrial Waste Shells. / Patil Pragma, Singh Sripal, Yenkie Mahesh kumar, // Research Journal of Chemical Sciences. – 2013. – Vol. 3. – P. 12–15.
352. Температура пиролиза вызвала изменения характеристик и химического состава биочара, полученного из отходов конокрада [Электронный ресурс] — URL: https://www.researchgate.net/publication/237074934_2_Pyrolysis_temperature_induced_changes. (дата обращения: 27.03.2020).
353. Патент № ЕА020323В1 Евразийское патентное ведомство, WO 2012/138207 2012.10.11 Способ получения углеродного энтеросорбентаю / А.М. Зулхаир, С.С. Ирина, С.К. Аида [и др.] ; заявитель «Евразийская патентная организация, ЕАПВ».
354. Тертышный О.А. Получение сорбентов карбонизацией рисовой шелухи для очистки воды от нефтепродуктов. / О.А. Тертышный, Е.В. Тертышная, Д.В. Гура // труды одесского политехнического университета. – 2013. – № 3(42). – P. 306–309.
355. Патент № RU 2228293С2 Российская федерация, МПК С01В 31/08. Способ получения дроблёного активного угля: № 013159259/05 / Н.Г. Габрук, И.И. Олейникова, Т.А. Шутеева; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный университет».

356. Патент № RU 2339573C1 Российская федерация, МПК C01B 31/08. Способ получения активного угля: № 2007130705/15 / В.М. Мухин, И.Д. Зубова, В.П. Чумаков [и др.]; заявитель Открытое акционерное общество "Электростальское научно-производственное объединение «Неорганика» (ОАО «Неорганика»).
357. Орипова Л.Н. Получение активированного угля из древесного и косточкового сырья / Л.Н. Орипова, Р.Р. Хайитов // UNIVERSUM: Технические науки. – 2021. – № 9 (90). – С. 14–17.
358. Наинг Линн Сое. Исследование переработки отходов разделки стволов железного дерева на активные угли / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт и др. // Сб. статей по материалам междунар-й н/пр-й конф. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018» – 2018. – С. 860–863.
359. Наинг Линн Сое. Экспериментальная оценка вовлечения в производство активных углей древесины железного дерева / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт и др. // Мат-лы II междунар. н/п конф. «Безопасность природопользования в условиях устойчивого развития». – 2018. – С. 341–345.
360. Наинг Линн Сое. Технологические аспекты и показатели переработки отходов древесины железного дерева и оболочек семян манго на углеродные адсорбенты / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт и др. // Химическая промышленность сегодня. – 2018. – № 4. С. 28–34.
361. Зин Мое. Оценка технологических параметров и технических характеристик продуктов переработки оболочек семян манго на углеродные адсорбенты / Зин Мое, Наинг Линн Сое, Со Вин Мьинт и др. // Сб. статей по материалам международной конференции. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018». – 2018. – С. 470–473.
362. Наинг Линн Сое. Возможное направление сокращения пожарной и экологической опасности, связанной с обращением с растительными отходами в Республике Союз Мьянма / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Мин Тху и др. // Материалы II международной н/п конф. «Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения – 2018» Курган: Изд-во Курганской ГСХА. – 2018. – С. 121–124.

363. Мин Тху. Пористая структура и сорбционная способность продукта термолитизации скорлупы косточек сливы / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Мин Тху и др. // Международная конф. «Химическая технология функциональных наноматериалов» М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2017. – С. 169–170.
364. Мьят Мин Тху. К оценке поглотительных свойств науглероженного остатка пиролиза стеблей и корневищ хлопчатника / Мьят Мин Тху, Мин Тху, Со Вин Мьянт и др. / Сб. материалов международной конф. «Химическая технология функциональных наноматериалов» М.: РХТУ. – 2017. – С. 184–196.
365. Мьят Мин Тху. Гуза–пая как источник получения углеродных адсорбентов / Мьят Мин Тху, Мин Тху, Со Вин Мьянт и др. // Сб. статей по материалам междунаро–
дн/пр–й конф. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018». – 2018. – С. 857–859.
366. Saw Win Myint. Inexpensive resources of Myanmar as a source of carbon adsorbents / Saw Win Myint, Zaw Ye Naing, Min Thu. // International Journal of Modern Agriculture –2020. – Vol. 9. – P. 342–350.
367. Пиролиз древесины при высокой температуре [Электронный ресурс] — URL: <https://bio.ukr.bio/ru/articles/2101/> (дата обращения: 18.04.2022).
368. Пиролиз древесины: понятие и продукты, [Электронный ресурс] — URL: <https://ztbo.ru/o-tbo/stati/piroliz/piroliz-drevesiny-ponyatie-i-produkty> (дата обращения 01,06,2023)
369. Активированный уголь: оборудование для производства активированного угля [Электронный ресурс] — URL: https://www.v-hold.ru/katalog/mini_zavody/proizvodstvo_uglya1/ (дата обращения: 09.09.2024).
370. Еремова С.В. Переработка рисовой шелухи с получением новых материалов полифункционального назначения / С.В Еремова., Ю.И. Сухарников, Л.В. Бунчук и др. [Электронный ресурс] — URL: <https://waste.ua/cooperation/2008/theses/efremova.html> (дата обращения: 01.05.2022).
371. Патент № RU2311227C1, Российская федерация МПК В01J20/20, Способ получения наноструктурированного углеродного материала с высокой удельной поверхностью и микропористостью: № 2006105028/15 / В.А. Яковлев, П.М. Елецкий,

В.Н. Пармон; заявитель «Институт катализа им. К.Г. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук».

372. Dobрева A. Comparative Study of the Yield and Chemical Profile of Rose Oils and Hydrosols Obtained by Industrial Plantations of Oil-Bearing Roses in Bulgaria / A. Dobрева, D. Nedeva, M. Mileva // Resource extraction from agricultural products /waste. – 2023. – Т. 7. – № 12. – С. 1–10.

373. Ogbuefi P.S. Proximate and ultimate composition of parboiled rice husk from local rice species and their suitability for use in bio-briquette production / P.S. Ogbuefi, P. Nwaoka, J. NjokuI etc. // In Chemistry. – 2020. – Т. 1. – № 7 – С. 8–14.

374. Jha P. Analysis of biomasses for their thermochemical transformation to biofuels. / Jha P., Dass B. // Международный журнал по теме производства энергетики и её менеджмента. – 2020. – Т. 2, – № 5, – С. 115–124.

375. Piriya R.S. Coconut shell derived $ZnCl_2$ activated carbon for malachite green dye removal / R.S. Piriya, R.M. Jayabala Krishnan, M. Maheswari and etc. // Science, water and technology. – 2021. – Т.5. – № 83. – С. 1167–1182.

376. Вин Мьинт Со. Эволюция пористой структуры карбонизата кокосового ореха при активации / Вин Мьинт Со, Тху Аунг Си, Клушин В.Н. и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2016. – Т. 16. – № 5. – С. 280–284.

377. Тху Аунг Си. Исследование пористой структуры активного угля из рисовой шелухи / Тху Аунг Си, Вин Мьинт Со, Клушин В.Н. и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2017. – Т. 17, – № 1. – С. 916–923.

378. Адамова Л.В. Сорбционный метод исследования пористой структуры наноматериалов и удельной поверхности наноразмерных систем / Адамова Л.В., Сафронов А.П. // Учебное пособие. – Екатеринбург: Уральский гос. Университет им. А.М. Горького. – 2008. – 62 с.

379. Заграфская Р.В. Адсорбционный сравнительный метод определения геометрических характеристик адсорбентов и катализаторов раз народна пористой структуры. Автореферат диссертации на соискание учёной степени к.х.н. Новосибирск. – 1984. – 14 с.

380. Вячеславов А.С. Определение площади поверхности и пористости материалов методом сорбции газов. / Вячеславов А.С., Ефремова М.Н. // Методическая разработка. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. – 2011. – 65 с.
381. Лекция №14 Адсорбция на поверхности твердых тел, [Электронный ресурс] — URL: <https://studfile.net/preview/1938315/page:14/> (дата обращения: 12.11.2024).
382. Брукхофф Й.К.П. Исследования текстуры адсорбентов и катализаторов / Й.К.П. Брукхофф, Б.Г. Линсен // Глава 1. В кн.: Строение и свойства адсорбентов и катализаторов, М.: Мир. – 1973. С. 23–81.
383. Грег С. Адсорбция, удельная поверхность. / С. Грег, К. Синг // пористость: Пер. с англ. М.: Мир. – 1984. – 306 с.
384. Фенелонов В.Б. Адсорбционные методы измерения общей и парциальной поверхности гетерогенных катализаторов и носителей (современное состояние и тенденции развития) / В.Б.Фенелонов, В.Н. Пармон // В сб.: Промышленный катализ в лекциях. Под ред. проф. А.С. Носкова. М.: Калвис. – 2006. – С. 77–119.
385. Технология получения активных углей и их применение [Электронный ресурс] — URL: <https://studfile.net/preview/19946465/> (дата обращения: 05.04.2020).
386. Производство угля из кокосовой скорлупы[Электронный ресурс] — URL: <https://cameralabs.org/6443-proizvodstvo-uglya-iz-kokosovoj-skorlupy> (дата обращения: 18.12.24).
387. Определение удельной поверхности адсорбента [Электронный ресурс] — URL: <https://studfile.net/preview/8924649/> (дата обращения: 29.09.24).
388. Экология. Справочник. Древесина: сухая перегонка [Электронный ресурс] — URL: <https://ru-ecology.info/term/47397/> (дата обращения 13.06.2023).
389. Сапрыкин Л.В. Основные закономерности термического разложения рисовой шелухи. Автореферат дисс. к.х.н., Рига. – 1989. – 22 с.
390. Margarita Gurman. Active carbons for selective flotation of primary gold-copper-porphyry ore / Margarita Gurman and Abdakim Ashimbayev // VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Geo-resources”, E3S Web of Conferences. – 2020. – 192. – № 02004. – P. 1-6.

391. Выродов В.А. Технология лесохимических производств. / В.А. Выродов, А.Н. Кислицын, М.И. Глухарева и др. // М.: Лесная промышленность. – 1987. – 352 с.
392. Гордон Л.В. Технология и оборудование лесохимических производств. / Л.В. Гордон, О.В. Скворцов, В.И. Лисов // М.: Лесная промышленность. – 1988. – 360 с.
393. Pandharipade S.L. Synthesis of Adsorbents From Waste Materials Such As Ziziphus Jujube Seed & Mango Kernel / S.L. Pandharipade, Y. Moharkar, Raj. Thakur // International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). – 2012. – Vol. 2(4). – P.1337–1341.
394. Thomas Walker, Biomass sustainability and carbon policy study. – 2010. – 177 p. [Электронный ресурс] URL: <https://biomassmurder.org/docs/2010-08-30-manomet-biomass-sustainability-and-carbon-policy-study-english.pdf> (дата обращения: 17.01.2024).
395. Лурье А.А. Хроматографические материалы (справочник). М.: Химия. – 1978. – 440 с.
396. Водяной газ [Электронный ресурс] — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Водяной_газ (дата обращения: 17.01.2024).
397. Сухая перегонка древесины [Электронный ресурс] — URL : <https://studfile.net/preview/4193993/page:5/> (дата обращения: 17.01.2024).
398. Что такое рапс и что из него делают. [Электронный ресурс] — URL: <https://olis.com.ua/ru/press-centre/statii/st-raps/> (дата обращения: 11.10.2020).
399. Найн Лин Сое. Исследование процесса окисления активного древесного угля кислородом воздуха. / Найн Лин Сое, И.К. Гиндулин, Ю.Л. Юрьев, С.В. Еранкин, Л.А. Петров // Химия растительного сырья. – 2007. – № 4. – С. 117–120.
400. Мухин В.М. Исследование пористой структуры активных углей из соломы различных сельхозкультур / В.М. Мухин, Н.И. Богданович, Н.Л. Воропаева и др. // Материалы III Всероссийской конференции «Актуальные проблемы теории адсорбции, пористости и адсорбционной селективности». – 2016. – С. 75–76.
401. Мухин В.М. Модифицирование в технологии углеродных адсорбентов: Монография. / В.М. Мухин, В.Н. Клушин, А.В. Нистратов, Со Вин Мьинт и др. // М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2022. – 326 с.

402. ГОСТ 7885–86. Углерод технический для производства резины. Технические условия.
403. Москаленко Т.В. Деминерализация бурого угля Харанорского месторождения / Т.В. Москаленко, В.А. Михеев, Е.В. Воргина // ГИАБ, 2021. – № 12–1.
404. Санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс] — URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115 - 6560IO> (дата обращения: 14.09.2022).
405. ГОСТ 4453–74. Уголь активный древесный осветляющий порошкообразный. Технические условия [электронный ресурс] — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017212> (дата обращения 06,08,2022).
406. Мухин В.М. Исследование пористой структуры активных углей из соломы различных сельхозкультур / В.М. Мухин, Н.И. Богданович, Н.Л. Воропаева и др. // Материалы III Всероссийской конференции «Актуальные проблемы теории адсорбции, пористости и адсорбционной селективности». – 2016. – С. 75–76.
407. Мухин В.М. Новый тип активного угля на основе шихты скорлупы кедрового ореха и виноградных косточек / В.М. Мухин, Т.Г. Лупашку, В.В. Гурьянов и др. // Материалы XVI Всероссийского симпозиума с международным участием «Актуальные проблемы теории адсорбции, пористости и адсорбционной селективности». – 2017. – С. 259–260.
408. Нистратов А.В. Способ получения высокочистого углеродного материала из растительных отходов / А.В. Нистратов, А.А. Курилкин, В.Н. Клушин и др. // Chemical Bulletin. – 2023. – Т. 6, – № 4. – С. 43–53.
409. Хайитов Р.Р. Карбонизация косточек урюка и паровая активация карбонизата с целью получения активированного угля / Б.Э. Шерматов, У.У. Эшонкулов и др. // Узбекский химический журнал. – 2017. – № 3. – С. 65–69.
410. Наубеев Т.Х. Определение физико–химических и адсорбционных характеристик нового активированного угля из косточек урюка / И.Я. Сапашов, Д.Х. Абдикамолов, Р.Р. Хайитов, Б.А. Хайдаров // химическая технология. – 2017. – № 2 (35). – С 1-3.

411. Со Вин Мьинт. Адсорбционно активные производные рисовой шелухи и оболочек семян манго / Зин Мое, А.В. Нистратов и др. // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Т. 34. № 11. – С. 83–85.
412. Мин Тху, Показатели пористой структуры и адсорбционной способности целевых продуктов трансформации в активные угли оболочек косточек сливы / Мин Тху, Мьят Мин Тху, Со Вин Мьинт и др. // Сб. статей международной н/п конф. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» Севастополь. – 2019. – С. 1055–1059.
413. Мин Тху. Технологические основы переработки отходов возделывания хлопчатника и консервирования сливы с получением активных углей / Мин Тху, Мьят Мин Тху, Со Вин Мьинт и др. // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32. – № 12. С. 64–66.
414. Со Вин Мьинт. Показатели углеродных адсорбентов на базе кожуры плодов тамаринда / Со Вин Мьинт, Нистратов А.В., Клушин В.Н. //Мат–лы V Всерос. н/конф. (с междунар. участием) «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов». Иваново. – 2021. – С. 157–160.
415. Н.Н. Гаврилова. анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных, / Н.Н. Гаврилова, В. В. Назаров // химическая технология, Российский химико–технологический университет им. Менделеева. – Москва. – 2015. – С. 1–132.
416. Rouquerol F. Adsorption by Powders and Porous Solids. / F. Rouquerol, J. Rouquerol, K. Sing // London: Academic Press. – 1999. P. 1–25.
417. Получение карбонизованных сорбентов [Электронный ресурс] — URL: <https://helpiks.org/3-96300.html> (дата обращения: 01.11.2024).
418. Активированный уголь [Электронный ресурс] — URL: https://www.himprompk.ru/goods/95390254-ugol_bau_a_10kg (дата обращения: 10.06.2024).
419. Лупашку Ф.Г. Формирование пористой структуры и область применения активных углей из вторичного сырья, получаемого при переработке сельскохозяйственной продукции. / Ф.Г. Лупашку, В.В. Стрелко, В.М. Ропот и др. //

В сб. «Адсорбенты и адсорбционные процессы в решении проблем охраны природы». Кишинев: Штиинца. – 1988. – С. 38–39.

420. Самойлова Н.А. Моделирование стадии карбонизации при производстве активных углей из отходов древесины. ЖПХ, – 1993. – Т. 66. – № 10. С. 23–37.

421. Кузьмина Р.И. Пирогенетическая переработка некоторых древесных отходов и отходов лущения семян / Кузьмина Р.И., Штыков С.Н., Панкин К.Е. и др. // Химия растительного сырья. – 2010. – № 3. – С. 61–65.

422. Перспективы использования древесных отходов. [электронный ресурс] — URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5816> (дата обращения: 12.12.2025)

423. Boehm H.P. Surface oxides on carbon and their analysis: a critical assessment // Carbon. – 2000. – Vol. 40 – P. 145–149.

424. ГОСТ 4453–74, Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный.

425. Шевелева И.В. Сорбенты на основе рисовой шелухи для удаления ионов Fe (III), Cu (II), Cd (II), Pb (II) из растворов. / И.В. Шевелева, А.Н. Холомейдик, А.В. Войт, Л.А. Земнухова // Химия растительного сырья. – 2009. – № 4. – С. 171–176.

426. Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан. [Электронный ресурс] — URL: <https://cmrp.kz/index.php/en/research> (дата обращения: 21.12.2022).

427. Грехов Алексей Петрович. Извлечение рения из сернокислых растворов активными углями из рисовой шелухи / Грехов Алексей Петрович , Пьяе Пьо Аунг, Вей Мов Аунг, Трошкина Ирина Дмитриевна // промышленной биотехнологии, Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – Т. XXX. – № 6. – С 1-3.

428. Сорбенты для очистки воды от ионов тяжёлых металлов. [Электронный ресурс]. URL: <https://mydocx.ru/9-64693.html> (дата обращения: 17.01.2022)

429. Basu S. Activated Carbon: Ion Exchange and Adsorption Properties / Water Encyclopedia. DOI:[10.1002/047147844X.wq11](https://doi.org/10.1002/047147844X.wq11) (дата обращения: 23.02.2023)

430. Зенькова Е.В. Технологические основы рециклинга отходов мебели в активные угли. // Дисс. к.т.н. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева – 2018. – 205 с

431. Каталог фирмы «Вита Эко» [Электронный ресурс] — URL: <http://www.vitaeco.ru/assort/3365>. (дата обращения: 23.05.2022).

432. Кокосовый уголь K835 [Электронный ресурс] — URL: <https://www.silcarbon.ru/> (дата обращения: 18.05.2024).
433. Активированный уголь на кокосовой основе (207 С, 607 С, Каусорб) [Электронный ресурс] — URL: <https://tatsorb.com/katalog/aktivirovannye-ugli/kokosovaya-osnova> (дата обращения: 27.06.2024).
434. Кокосовый активный уголь, применяемый в ликёро–водочной отрасли [Электронный ресурс] — URL: <https://silikagel.ru/katalog/aktivirovannye-ugli/kokosovyy/> (дата обращения: 27.06.2024).
435. Скорлупы кокосового ореха: дезодоранты, активированный уголь, древесный уголь [Электронный ресурс] — URL: <https://charcoalmachines.com/ru/the-difference-between-coconut-shell-charcoal-and-powdered-activated-carbon/> (дата обращения: 21.06.2024).
436. Общий органический углерод в воде: определение содержания. [Электронный ресурс] — URL: <https://vistaros.ru/karta-sajta> (дата обращения: 10.02.2023).
437. Общий органический углерод в воде [Электронный ресурс] — URL: <https://www.water2you.ru/articles/khimicheskie-elementy-v-vode-i-pokazateli-kachestva-voda-obshchiy-organicheskiy-uglerod/> (дата обращения: 18.01.2020).
438. Панасюгин А.С. Оценка целесообразности введения нормирования в выбросах в атмосферный воздух и сточных водах по общему содержанию органического углерода в Республике Беларусь / Панасюгин А.С., Белый О.А., Ходин В.В. и др. // Литье и металлургия. – 2013. – № 2 (70). – С. 141–144.
439. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.4.1116–02 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качеств. [Электронный ресурс] — URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294815/4294815037.htm> (дата обращения: 18.01.2020).
440. Nour T. Abdel–Ghani. Optimizing the preparation conditions of activated carbons from olive cake using KOH activation / Nour T. Abdel–Ghani, Ghadir A. El–Chaghaby, Mohamed H. El–Gammal, El–Shaimaa A. // New Carbon Materials. – 2016. Vol. 31(5). – P. 492–500.

441. Воробьёв Е.С. Химическая кинетика / Е.С. Воробьёв и А.М. Садыков, [Электронный ресурс] — URL: <https://moodle.kstu.ru/course/view.php?id=4047> (дата обращения: 10.11.2024).
442. Черепанов В.А. Химическая кинетика. / Черепанов В.А., Аксенова Т.В. // Изд-во УрФУ. – Екатеринбург. – 2016. – 132 с.
443. Зубахин Н.П. Условия и особенности очистки стоков коксохимического производства углеродными адсорбентами / Н.П. Зубахин, В.Н. Клушин, К.Г. Старостин и др // Кокс и химия. – 2015. – № 2. С. 39–43.
444. Долгих О.Г. Использование углеродных адсорбентов на основе растительных отходов для очистки нефти загрязнённых сточных вод / О.Г. Долгих, С.Н. Овчаров // Вестник Северо-Кавказского ГТУ. – 2010. – № 1. – С. 156–162.
445. Свицкая Т.А. Сорбенты на основе активированного угля и гидролизного лигнина: структура, свойства и применение / Т.А. Свицкая, Т.Н. Невар., Г.Н. Сыганкова и др. [электронный ресурс] — URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/223267/1/132-143.pdf> (дата обращения: 19.04.2024).
446. Ramirez A.P. Production and characterization of activated carbon from wood wastes / A.P. Ramirez, S. Giraldo, M. Ulloa, E. Flórez and N.Y. Acelas // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 935. – P. 1-6.
447. Dr. Daniel C.W. Tsang Production of activated carbon from wood waste by chemical activation technique and its application to industrial wastewater treatment / Dr. Daniel C.W. and Ir. Dr. Irene M.C. Lo // The Hong Kong University of Science and Technology. [электронный ресурс] — URL: http://ev.hkie.org.hk/Upload/Doc/b7036f24-6207-4d08-b15a-89da561eb720_Production of Activated Carbon from Wood Waste by Chemical Activation Technique and its Application to Industrial Wastewater Treatment.pdf (дата обращения: 19.04.2024).
448. DT6, Плотность дизельного топлива [Электронный ресурс] — URL: <https://dt6.ru/projects/kharakteristiki-topliva/plotnost-dizelnogo-topliva/> (дата обращения 11.03.2024).

449. Наинг Линн Сое. Поглощительные свойства наноструктурированных адсорбентов на основе отходов разделки древесины Пуинкадо / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт, Клушин В.Н. // Материалы международной конференции «Химическая технология функциональных наноматериалов» М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2017. – С. 187–188.
450. Зин Мое. Сравнительная эффективность активных углей, полученных из отходов консервирования плодов манго в решении природоохранных задач / Зин Мое, Наинг Линн Сое, Со Вин Мьинт и др. / Сб. материалов международной конференции «Химическая технология функциональных наноматериалов» М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2017. – С. 101–102.
451. Наинг Линн Сое. Способность дисперсных отходов переработки растительного сырья в активные угли к фиксации плёночных нефтепродуктов / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Мин Тху, Мьят Мин Тху, Со Вин Мьинт, А.В. Нистратов, В.Н. Клушин // Сборник статей международной научно–практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019». – 2019. – С.1152–1155.
452. Зин Мое. Сравнительная эффективность активных углей, полученных из отходов консервирования плодов манго в решении природоохранных задач / Зин Мое, Наинг Линн Сое, Со Вин Мьинт и др. // Сб. материалов международной конф. «Химическая технология функциональных наноматериалов» М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2017. – С. 101–102.
453. Си Тху Аунг. Регенерация и эффективность цикличного использования кремнеуглеродного адсорбента на базе рисовой шелухи / Си Тху Аунг, Со Вин Мьинт, Клушин В.Н. // Сб. материалов международной конф. «Химическая технология функциональных наноматериалов» М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2017. – с. 245–246.
454. Со Вин Мьинт, Удаление дизельного топлива с поверхности воды с использованием отходов производства активного угля из кожуры плодов тамаринда / Со Вин Мьинт, Наинг Линн Сое, Нистратов А.В., Клушин В.Н. // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. – Т. XXXV. – №13 (248). – С. 70–72.

455. Со Вин Мьинт. Поглолительные свойства углеродных адсорбентов на базе кожеры плодов тамаринда / Со Вин Мьинт, Нислатов А.В., Клушин В.Н. // Материалы II Международной Российско–Азербайджанской научной конференции, посвящённой 880–летию великого азербайджанского поэта–просветителя Низами Гянджеви «Перспективы инновационного развития химической технологии и инженерии». –2021. – С. 124–125.
456. Со Вин Мьинт. Способность к фиксации дизельного топлива с поверхности воды карбонизатом активного угля на основе скорлупы орехов кокоса / Со Вин Мьинт, Зо Е Найнг, А.В. Нислатов и др. // Успехи в химии и химической технологии. – 2023. – Т. 37. – С. 161–163.
457. Sivakumar B. Preparation and characterization of activated carbon prepared from Balsamodendron caudatum wood waste through various activation processes / B. Sivakumar, C. Kannan and S. Karthikeyan // Rasayan journal of chemistry. – 2012. – Vol. 5. – P. 321–327.
458. Каменщиков Ф.А. Нефтяные сорбенты. / Ф.А. Каменщиков, Е.И. Богомольный Ф.А. Каменщиков., Е.И. Богомольный // Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований. – Москва – 2003. – 268 с.
459. Экоэнергия, адсорбенты, [Электронный ресурс]. — URL: <https://ecology-energy.ru/production/adsorbents/> (дата обращения: 12.02.2024).
460. Жолбаева Г.А. Разработка технологии использования рисовой шелухи в качестве нефтесорбента. [Электронный ресурс] — URL: https://www.rusnauka.com/SND/Ecologia/1_+zholbaeva.rtf.htm (дата обращения: 13.10.2024).
461. Экогранторф, адсорбенты для сбора нефти. [Электронный ресурс]. — URL: <https://grantorf.by/index.php/adsorbenty-dlya-sbora-nefti> (дата обращения: 28.04.2023).
462. Nistratov A.V. Water purification from petroleum and engine oil by carbon adsorbents from secondary raw materials. / A.V. Nistratov, V.N. Klushin, D.A. Rodina // 7th International Conference «New Functional Materials and High Technology» Tivat, Montenegro, 23–27 September 2019: Abstracts. – G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences. – 2019 – P. 26–28.

463. Сорбенты для нефти [Электронный ресурс] URL: <https://terra-ecology.ru/katalog-produkcii/sorbents/absorbenty-nefteproduktov/> (дата обращения: 19.04.2022).
464. Наинг Линн Сое. Новые адсорбенты из растительных отходов Мьянмы для решения экологических задач / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт и др. // Успехи в химии и химической технологии – 2019. – Т. 33. – № 5. – С. 54–58.
465. Со Вин Мьинт. Кинетика и равновесие адсорбции паров летучих органических растворителей из их паровоздушных смесей активным углём, полученными из кожуры плодов тамаринда / Со Вин Мьинт, Нистратов А.В., Клушин В.Н. // Сборник статей научно–практической конференции с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2021» – 2021. – С. 583–587.
466. Со Вин Мьинт. Поглотительные свойства активных углей, полученных из кожуры плодов тамаринда и скорлупы кокосовых орехов Мьянмы, при адсорбции паров летучих растворителей / Со Вин Мьинт, Нистратов А.В., Клушин В.Н. // Успехи в химии и химической технологии. Сб. н. тр. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2022. – Т. XXXV. – № 12 (247). – С. 142–146.
467. Saw Win Myint. Activated carbon based on rice husks of Myanmar enterprises as a remover of organic solvent vapors from the air / Saw Win Myint, Zaw Ye Naing, Nistratov A.V. etc. // International Russian Conference on Ecology and Environmental Engineering (RusEcoCon 2022). – 2022. – С. 1–8.
468. Мирзалиева Е.М. Адсорбенты из отходов древесины и полипропилена для очистки воздуха от паров растворителей / Мирзалиева Е.М., Нистратов А.В., Курилкин А.А. и др. // Труды XXIII международной научно–практической конф. «Актуальные проблемы экологии и природопользования». – 2022. – Т. 2. – С. 158–165.
469. Патент № RU2527221C1 Российская федерация, МПК C01B 31/08. Способ получения активного угля из растительных отходов: № 2015149673 : заявл. 19.11.2015 / Мухин В.М., Воропаева Н.Л., Карпачев В.В. [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетно образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева».

470. Сорбенты для очистки воды от ионов тяжёлых металлов. [Электронный ресурс] — URL: <https://mydocx.ru/9-64693.html> (дата обращения: 17.01.2024).
471. А.С. Максимов. Активные угли в процессе извлечения ионов лантана и тербия из водных растворов. / А.С. Максимов., А.А. Юминова, Е.А. Фарберова, Е.А. Тиньгаева // Биотехнология и промышленная экология, Вестник пинпу. – 2019. – С. 5–15.
472. Нгуен Мань Хиеу. Процессы термической переработки рисовой шелухи при получении активированного углеродного материала и их аппаратное обеспечение. Автореферат диссертации к.т.н. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск. – 2018. – 22 с.
473. Патент № 2609802 С 1 Российская Федерация, МПК СО 1 В 31/08. Способ получения активного угля из растительного сырья : № 2015149673 :заявл. 19.11.2015: опубл. 06.02.2017 / В.Н. Клушин, Т.А. Си, В.М. Со [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева».
474. Мотыгина А.В. Создание новых видов сигарет с повышенными показателями безопасности и качества табачного сырья. Дисс. к.т.н. Кубанский ГТУ, Краснодар. – 2016. – 180 с.
475. Методическая инструкция № 2568–096–04838763–99 «Испытание сорбентов и средств очистки воздуха на время защитного действия по декану», утв. Зам генер. директора ГУП «ЭНПО «Неорганика» 22.11.1999.
476. Патент № 2675569 С1 Российская Федерация, МПК С01В 32/318, С01В32/324. Способ получения активного угля на основе древесного сырья: 2018116211: заявл. 28.04.2018: опубл. 19.12.2018 / В.Н. Клушин, В.М. Мухин, В.М. Со [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» .
477. Коллаген. Химическая энциклопедия. [Электронный ресурс] — URL: <http://www.edudic.ru/hie/2649/> (дата обращения 12,06,2021)

478. Промышленная технология лекарств. Глава 5. Лекарственные средства для парентерального применения [Электронный ресурс] — URL: https://ztl.nuph.edu.ua/medication/chapter19_01.html (дата обращения: 08.04.2018).
479. Определение прозрачности [Электронный ресурс] — URL: https://www.meddr.ru/rukovodstvo_k_prakticheskim_zanyatiyam_po_me/ (дата обращения: 08.04.2022).
480. Прозрачность [Электронный ресурс] — URL: <https://adeptik.com/blog/prozrachnost-proizvodstva/> (дата обращения: 08.04.2018).
481. Патент № RU2166990C1 Российская Федерация, МПК C01B 01J 20/20 C01B 31/08. Углеродный адсорбент, способ получения и установка для его осуществления: № 2000120356/12 :заяв. 02.08.2000 :опубл. 20.05.2001 / В.В. Чебыкин, Д.С. Жуков, И.Д. Зубова, В.М. Мухин [и др.]; заявитель: Жуков Димитрий Сергеевич.
482. Патент № RU2675576C1 Российская Федерация, МПК C01B 32/318, C01 B 32/324. Способ получения активного угля на основе растительных отходов: № 2018116213 :заяв. 28.04.2018 :опубл. 19.12.2018 / В.Н. Клушин, В.М. Мухин, В.М. Со [и др.]; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».
483. Сомин В.В. Новые сорбционные материалы для очистки природных и сточных вод. / В.В. Сомин, Л.Ф. Комарова // Барнаул: Изд-во Алтайского ГТУ. 2014. – 212 с.
484. Патент № RU2145259C1 Российская Федерация, МПК B01J 20/20, C01 B 31/08. Способ получения сорбента: № 99106623 : заяв. 30.03.1999 :опубл. 10.02.2000 / А.Н. Тамамьян, А.А. Хазанов, Н.А. Зимин [и др.]; заявитель: Открытое акционерное общество «Зря».
485. Патент № RU2203581C2 Российская Федерация, МПК A23 L 1/29, 1/30, C12 P 1/02. Способ производства питательной смеси для внутрикишечного зондового питания: № 2001122265/13 :заяв. 09.08.2001 :опубл. 10.05.2003 Бюл. / Н.А. Мулина, Л.П. Павлова, Г.П. Бурмистров [и др.]; заявитель: Научно-исследовательский институт пищеконцентратной промышленности и специальной пищевой технологии.

486. Патент № RU2715538C1 Российская Федерация, МПК C01B 32/318 C01B 32/336. Способ получения активного угля из косточек плодовых деревьев: № 2019113181 :заяв. 29.04.2019 :опубл. 28.02.2020 Бюл. № 7/ В.Н. Клушин, В.М. Мухин, Мин Тху, Мьят Мин Тху [и др.]; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».
487. Загрязнение почв остаточными пестицидами и микробными патогенами [Электронный ресурс] — URL: <https://agrohimija.ru/ceolity/2423-zagryaznenie-pochv-ostatochnymi-pesticidami-i-mikrobnymi-patogenami.html> (дата обращения: 15.10.2019).
488. Патент № RU2596252C1 Российская Федерация, МПК C01B 31/08. Способ получения активного угля из соломы зерновых культур: № 2015116157/05 :заяв. 29.04.2015 :опубл. 10.09.2016 Бюл. № 25/ В.Н. Клушин, В.М. Мухин, Гурьянов В.В., Спиридонов Ю.Я. [и др.]; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «"Всероссийский научно-исследовательский институт рапса" (ФГБНУ ВНИИ рапса)».
489. Патент № RU2714083C1 Российская Федерация, МПК C01B 32/318 C01B 32/336. Способ получения активного угля из стеблей растения: № 2019113189 :заяв. 29.04.2019 :опубл. 11.02.2020 Бюл. № 5/ В.Н. Клушин, В.М. Мухин, Мин Тху, Мьят Мин Тху [и др.]; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».
490. Мулина Н.А. Способ производства питательной смеси для внутрикишечного зондового питания. / Мулина Н.А., Павлова Л.П., Бурмистров Г.П. и др. // Патент РФ № 2203581, опубл. 10.05.2003.
491. Что такое бифидобактерии, и чем они полезны для организма? [Электронный ресурс] — URL: <https://afsv.ru/blog/что-такое-бифидобактерии-и-чем-они-полезны-для-организма/> (дата обращения: 22.03.2022).
492. Khalil L.B. Adsorption Characteristics of Activated Carbon Obtained from Rice Husks by Treatment with Phosphoric Acid // Journal of adsorption science & technology. — 1996. — Vol. 13. — No. 5. — P. 317–325.

493. Патент № RU2786071C1 Российская Федерция, опубл. 16.12.2022, бюлл. № 35, Способ получения порошкового активного угля. Клушин В.Н., Мухин В.М., Мытько Ю.Н. и [др.] Заявитель; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева».
494. НПО "САТУРН". – производство высокочистого диоксида кремния из рисовой шелухи, [Электронный ресурс] — URL: <https://business-platform.ru/projects/22308> (дата обращения: 11.09.2024).
495. Патент № RU2311227C1, опубл. 27.11.2007, бюлл. 33. Способ получения наноструктурированного углеродного материала с высокой удельной поверхностью и микропористостью. Яковлев В.А., Елецкий П.М., Пармон В.Н. Заявитель; «Институт Катализа Им. Г.К. Борескова Сибирского Отделения Российской Академии Наук».
496. Соловей В.Н. Получение, свойства и применение модифицированных гетероатомами сферических углеродных адсорбентов, формованных методом жидкостной грануляции. // дис. канд. тех. наук: – Санкт–Петербург. – 2016. – 173 с.
497. Патент № RU2058935C1, Опубл. 27.04.1996. Бюлл. № 17. Гидрофобный активный уголь. Н.С. Поляков, Г.А. Петухова, А.О. Шевченко и [др.] Заявитель; «Институт физической химии РАН».
498. Гольдин М.М. Электрохимическое модифицирование промышленного активированного угля АГ–3 для получения гемосорбента и разработка методов оценки его эффективности // Дис. к. х. н., М. – 2011. – 154 с.
499. Shashikant R. Mise, Smita G. Jagannath. Adsorption studies of colour removal by activated carbon derived from Mangifera indica (mango) seed shell. / Shashikant R. Mise, Smita G. Jagannath. // International Journal of Research in Engineering and Technology, IC– Rice conference issue. – 2013. P. 325–328.
500. Зин Мое. Пористые углеродные материалы, полученные парогазовой и хлорцинковой активацией отходов переработки плодов манго / Зин Мое, Наинг Линн Сое, Нистратов А.В. и др. // Труды III Всероссийской конференции (с международным участием) «Актуальные проблемы теории и практики

гетерогенных катализаторов и адсорбентов», Иваново–Серебряный Плес. – 2018. – С. 112–113.

501. Feng–Chin Wu. Comparisons of porous and adsorption properties of carbons activated by steam and KOH / Feng–Chin Wu , Ru–Ling Tseng , Ruey–Shin Juang // Journal of Colloid and Interface Science. Carbon. – 2010. – Vol. 48. – Iss. 11. – P. 3157–3168.

502. Anirudhan T.S. Adsorptive removal of heavy metal ions from industrial effluents using activated carbon derived from waste coconut buttons / T.S. Anirudhan, S.S. Sreekumari // Journal of Environmental Sciences – 2011. – Vol. 23. – No. 12. – P. 1989–1998.

503. Cazetta A.L. NaOH–activated carbon of high surface area produced from coconut shell: Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption / A.L. Cazetta, M.M. Vargas Alexandro, E.M. Nogami // Chemical Engineering Journal. – 2011. – Vol. 174. – Iss. 1. – P. 117–125.

504. Amuda O.S. Removal of heavy metal from industrial wastewater using modified activated coconut shell carbon / O.S. Amuda, A.A. Giwa, I.A. Bello // Biochemical Engineering Journal. – 2007. – Vol. 36. – No. 2. – P. 174–181.

505. Со Вин Мьинт. Особенности активных углей, полученных химическим модифицированием из отходов растительного сырья Республики Союз Мьянма / Со Вин Мьинт, Мин Тху, Наинг Линн Сое и др. // Химическая промышленность сегодня. – 2020. – № 1. – С. 32–35.

506. Со Вин Мьинт. Переработка скорлупы орехов кокоса республики Мьянма на активные угли. Дисс–я к.т.н. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, – 2017. – 212 с.

507. Переработка рисовой шелухи [Электронный ресурс] — URL: <https://waste.ua/cooperation/2008/theses/efremova.html> (дата обращения: 22.02.2022).

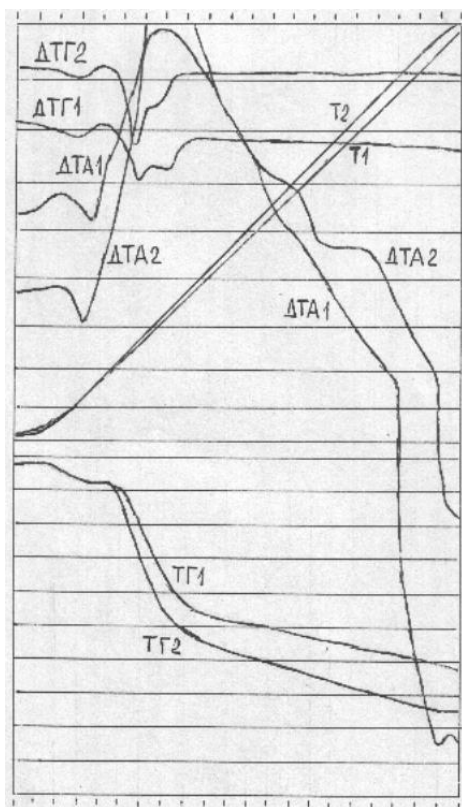
508. Ермоленко Б.В. Методические указания по определению эколого–экономической эффективности от технологических процессов и производств. / Б.В. Ермоленко, С.В. Макаров, В.А. Зайцев // М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева. – 1985. – 48 с.

509. Рекомендации по комплексной оценке эффективности научно–технических мероприятий, осуществляемых на предприятиях Миннефтехимпрома СССР. – М.: Нефтехимпром, – 1988. – 39 с.
510. Активированный уголь, цена: 62 предложения в России [Электронный ресурс] — URL: <https://www.regorg.ru/search?q=%E0%EA%F2%E8%25%20E2%25E> (дата обращения: 21.03.2020).
511. Уголь активный кокосовый [Электронный ресурс] — URL: <http://www.mtksorbent.ru/ugol-aktivnyj-aktivirovannyj/ugli-aktivnye-na-osnove-kokosa> (дата обращения: 23.12.2023).
512. Уголь активированный кокосовый марки Каусорб–212, уголь активный Каусорб–221, уголь Каусорб–223, уголь Каусорб–224 [Электронный ресурс] — URL: <https://geosorb.ru> (дата обращения: 27.06.2023).
513. Трубы большого диаметра. [Электронный ресурс] — URL: <http://www.tk-rapid.ru/truby-bolshogo-diametra/> (дата обращения: 4/01/25).
514. Печь сушила косвенного нагрева типа ПСК. [Электронный ресурс] — URL: <https://tulpech.ru/pechi-kosvennogo-nagreva/> (дата обращения: 4.02.2025).
515. Печь сушила ПСК 630/10Р. [Электронный ресурс] — URL: <http://www.tzdo.net/groups/show-15.htm> (дата обращения: 4.02.2025).
516. Строммашина. Каталог продукции. [Электронный ресурс] — URL: <http://www.strommash.ru/catalog> (дата обращения: 4.02.2025).
517. Печи косвенного нагрева. [Электронный ресурс] — URL: <http://www.strommash.ru/catalog/pechi-kosvennogo-nagreva> (дата обращения: 2.02.2025).
518. Русметалл. Листовой прокат [Электронный ресурс] — URL: https://www.rusmetprom.ru/upload/uf/845/83y1amy992m9h0egjl0598buw0pxqnup/Price_TSFO.pdf (дата обращения: 2.2.2025).
519. Роторная дробилка AMD–600DU [Электронный ресурс] — URL: <https://kupi-stanok.ru/drobilka-rotornaya/rotornaja-drobilka-amd-600du-010> (дата обращения: 2.2.2025).

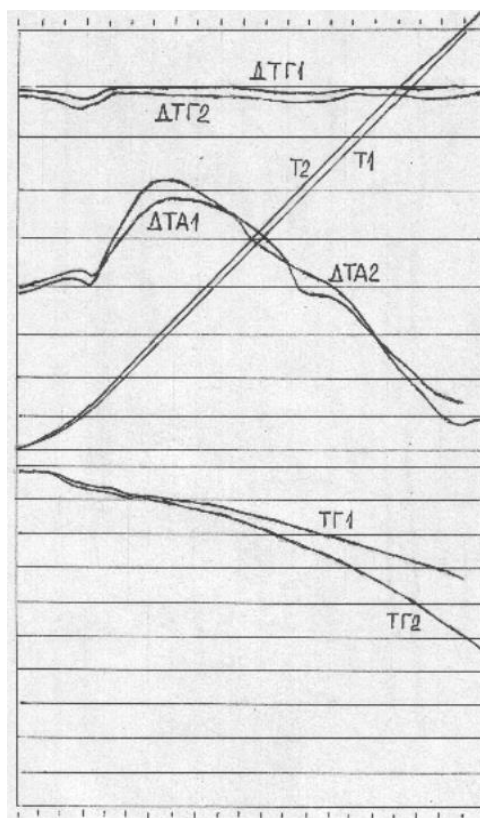
520. Грохоты вибрационные круглые [Электронный ресурс] — URL: http://mtspb.com/grohoti_vibratsionnie_kruglye/ (дата обращения: 10.2.2025).
521. Бобылев В.Н. Подбор и расчёт трубчатых теплообменников. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, – 2003. – 80 с.
522. Парогенераторы, паровые котлы на твёрдом топливе до 5000 кг пара/час [Электронный ресурс] — URL: https://www.ural-power.com/catalog/k-9174095-parogenerator_na_dizelnom_toplive (дата обращения: 12.2.2025).
523. Ленточные. Транспортёры для сыпучих v-образные, обычная лента [Электронный ресурс] — URL: <https://www.ibeton.ru/product/transportyery/lentochnye/> (дата обращения: 12.2.2025).
524. Elektor [Электронный ресурс] — URL: https://elektor.ru/cataloguespdf/9703097_S-HP_dt_engl1.pdf (дата обращения: 12.2.2025).
525. Добробент [Электронный ресурс] — URL: <https://dobrovent.ru/dymososy/dymosos-dn-9.html> (дата обращения: 12.2.2025).
526. Бобылев В.Н. Подбор и расчет трубчатых теплообменников. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2003. – 80 с.
527. Вентилятор центробежный ВР-280 [Электронный ресурс] — URL: <https://ventfom.ru/products/ventilyator-vr-280-46-50-du-01-55-kvt-1000-obl0> (дата обращения: 12.2.2025).
528. Дизельное топливо, [электронный ресурс] — URL: <https://kart-online.ru/ceny> (дата обращения 12,02,2025).
529. Зайцев В.А., методические указания по разделу Охрана окружающей среды от промышленных загрязнений в дипломных проектах и работах, М.:МХТИ им. Д.И. Менделеева. – 1982. – 39 с.
530. Тарасова Н.П. Оценка воздействия промышленных предприятий на окружающую среду / Н.П. Тарасова, В.А. Зайцев, Б.В. Ермоленко, С.В. Макаров : издательство «БИНОМ» Лаборатория знаний, – 2012. – 230 с.

Приложение П.1. Термограммы использованных растительных отходов и их карбонизатов, полученных в рациональных условиях пиролиза

Каждую термограмму (за исключением таковых для КПТ и БР) характеризуют две части – нижняя, где фиксированы изменения массы образца в виде термогравиметрических (ТГ) кривых (каждый из её 10 горизонтальных участков отражает одинаковую величину в мг, определяемую массой навески и значением её ожидаемого изменения), и верхняя, где регистрируются изменения показателей дифференциальной термогравиметрии (ДТГ), дифференциального термического анализа (ДТА) и равномерно увеличиваемой ($\sim 9^\circ\text{C}/\text{мин.}$) температуры (Т), причем каждый из её девяти разновеликих горизонтальных участков, отражающих рост температуры от комнатной до $\sim 900^\circ\text{C}$, кратен 100°C . Верхний и нижний края термограммы имеют реперы времени от 0 до 100 мин.

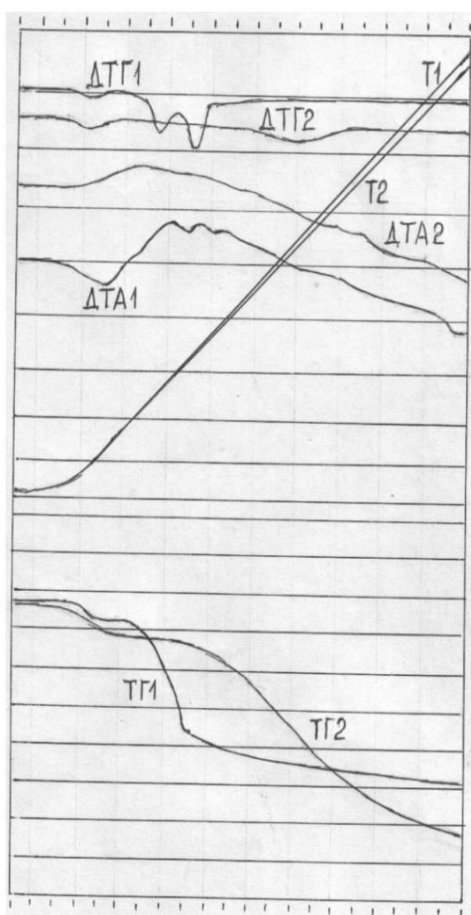


(а)

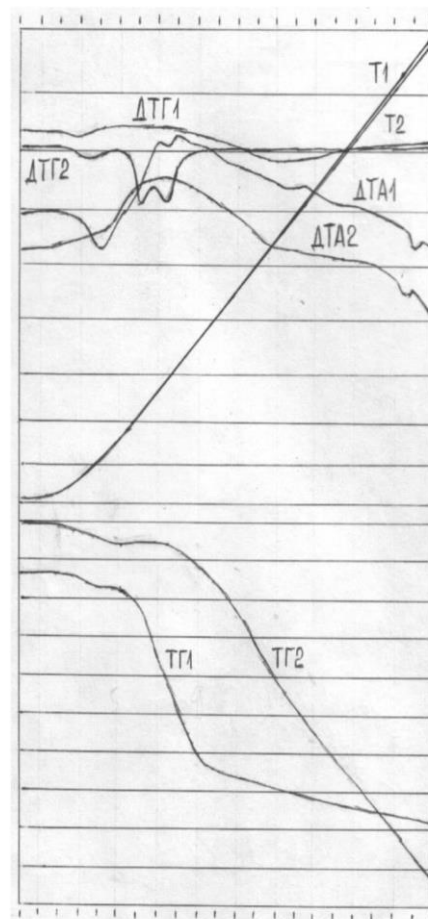


(б)

Рисунок П.1. (а) Термограммы сырья скорлупы кокосовых орехов (СКО) в атмосферах азота (1, навеска образца 345,5 мг) и воздуха (2, навеска образца 367,3 мг), шкала ТГ 500 мг, (б) Термограммы полученного карбонизата СКО в атмосферах азота (1, навеска образца 534,6 мг) и воздуха (2, навеска образца 599,3 мг), шкала ТГ 500 мг

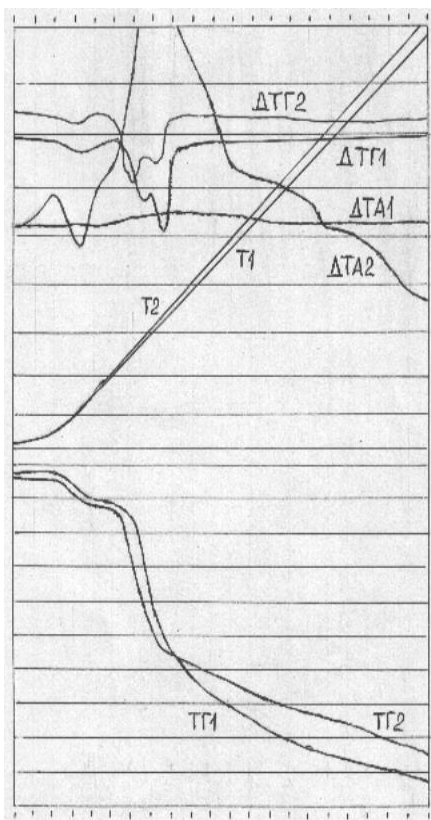


(a)

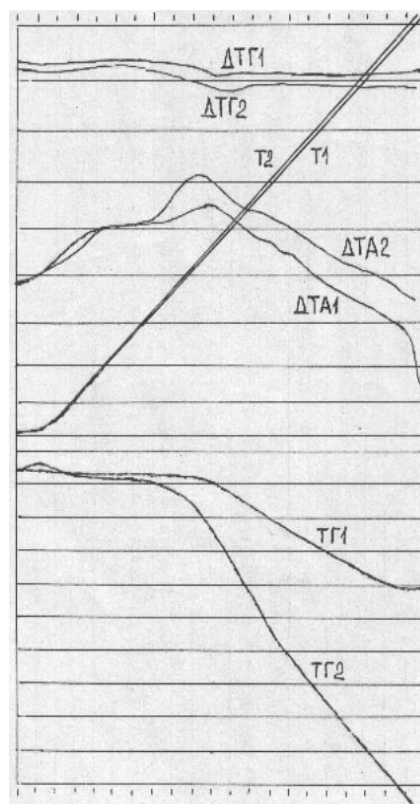


(б)

Рисунок П. 1.(I) (а) Термограммы порошка фрагментов косточек сливы СКС (1, навеска 574,1 мг, шкала ТГ 1000 мг) и полученного из них карбонизата (2, навеска 324,8 мг, шкала ТГ 200 мг) при нагревании образцов в атмосфере азота (б) Термограммы порошка фрагментов косточек сливы СКС (1, навеска 621,6 мг, шкала ТГ 1000 мг) и полученного из них карбонизата (2, навеска 372,7 мг, шкала ТГ 200 мг) при нагревании образцов в воздушной атмосфере

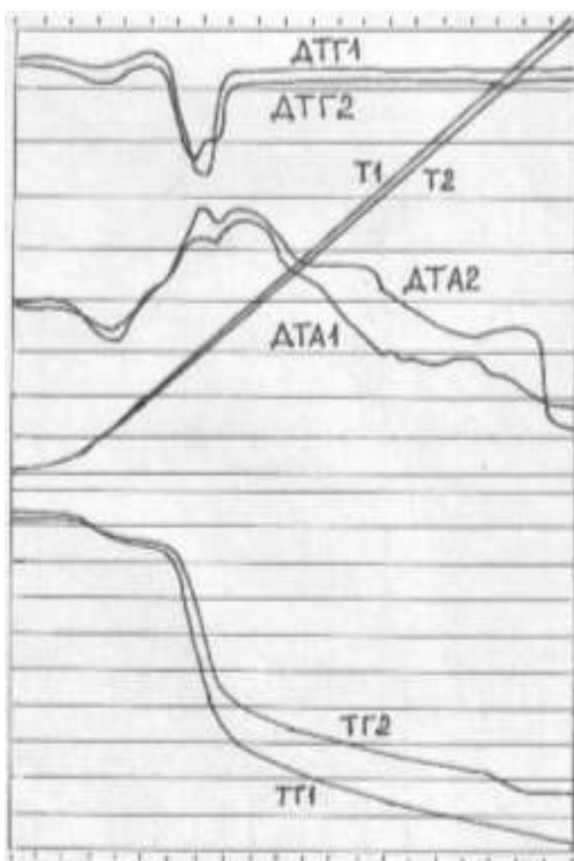


(а)

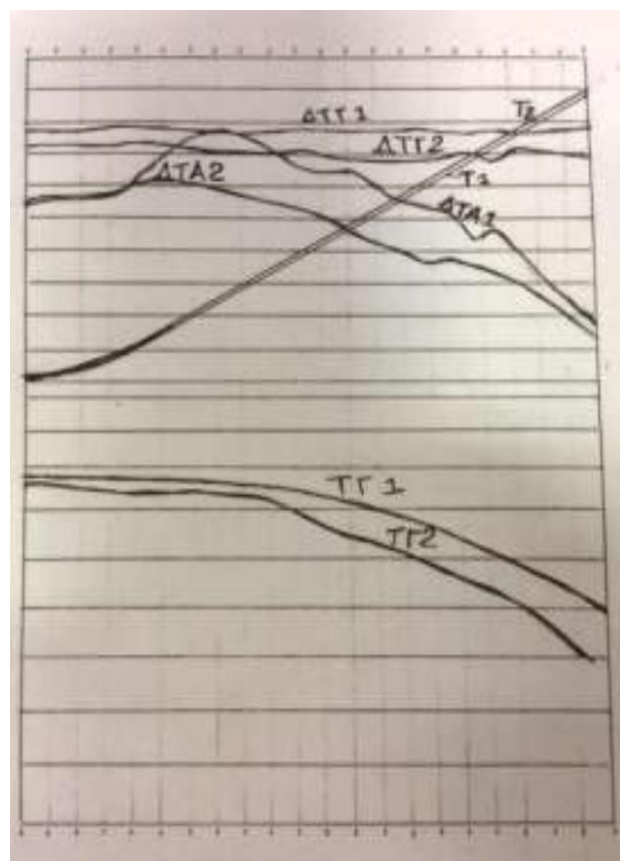


(б)

Рисунок П.1.(II) Термограммы порошка фрагментов РШ в атмосфере азота (1, навеска 536,4 мг) и воздуха (2, навеска 481,2 мг), (б) Термограммы карбонизата рисовой шелухи в атмосфере азота (1, навеска 135,8 мг, шкала ТГ 200 мг) и воздуха (2, навеска 232,4 мг, шкала ТГ 100 мг)



(a)



(б)

Рисунок П.1.(III) (а) Термограммы порошка оболочек семян манго (ОСМ) в атмосфере азота (1, навеска 458,8 мг) и воздуха (2, навеска 377,2 мг), (б) Термограммы карбонизата оболочек семян манго (ОСМ), полученные в атмосфере азота 1 (навеска 368,2 мг, шкала ТГ 200 мг) и на воздухе 2 (навеска 389,9 мг, шкала ТГ 500 мг)

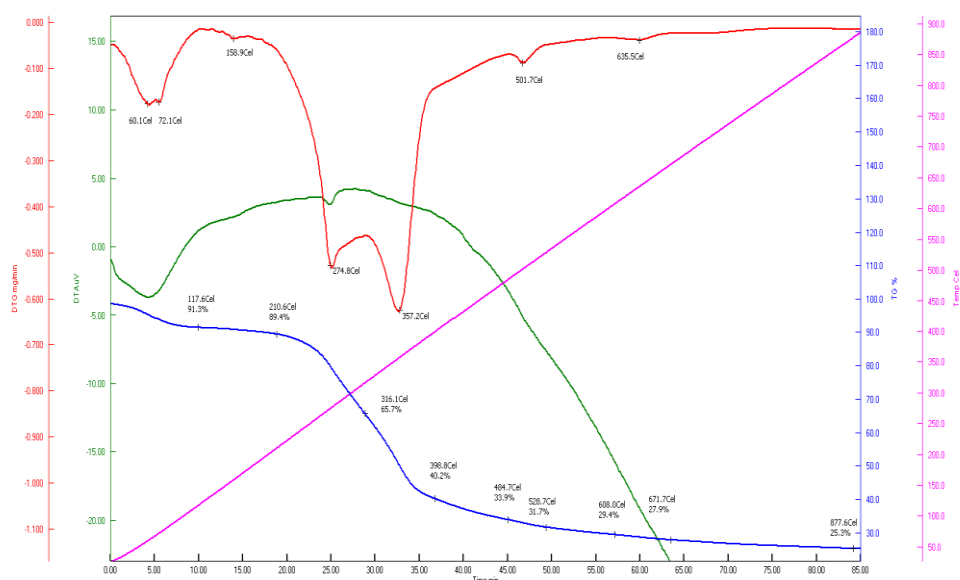
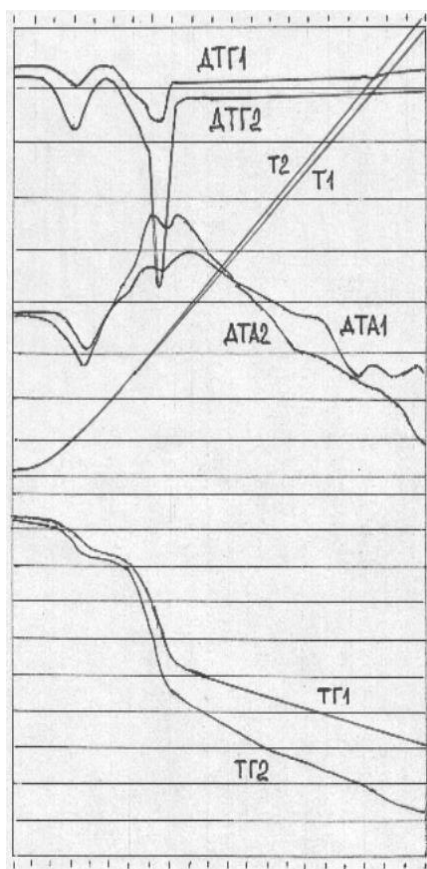
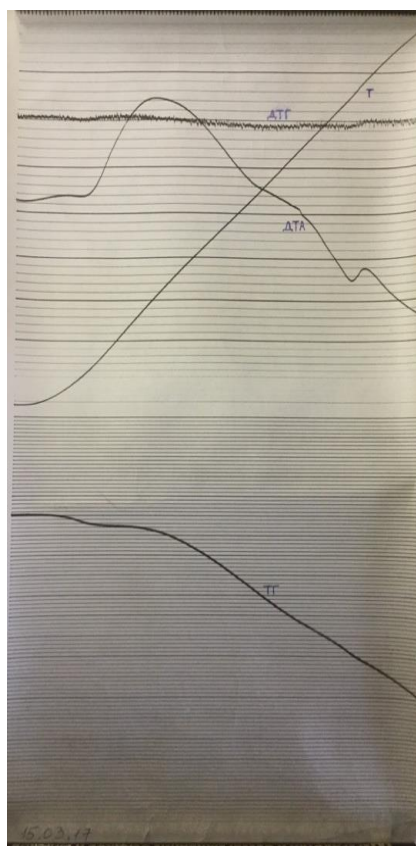


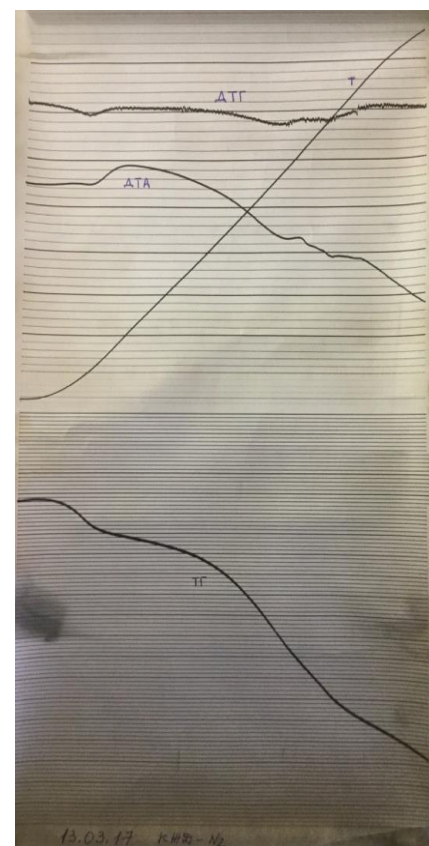
Рисунок П.1.(IV) (а) Термограммы порошка кожуры плодов таминада (КПТ) в защитной атмосфере азота (1, навеска 100 мг), полученные с использованием дериватографа марки EXSTAR.TG/DTA.7300.(SII) в виде зависимостей от температуры кривых термогравиметрии (ТГ), дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) и дифференциального термического анализа (ДТА) вертикальная зелёная ось обозначает ДТА (μV), вертикальная синяя ось обозначает ТГ (%), вертикальная фиолетовая ось и ось абсцисс обозначает температура ($^{\circ}\text{C}$)



(a)

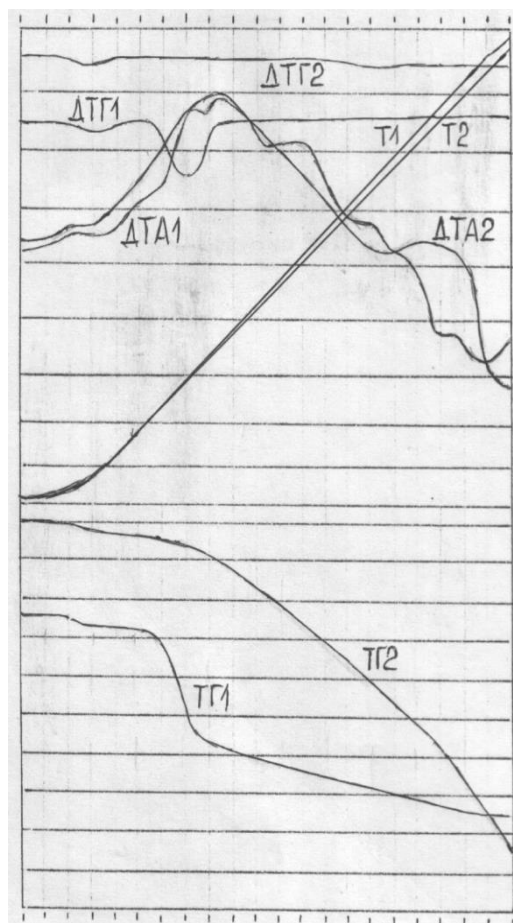


(б)

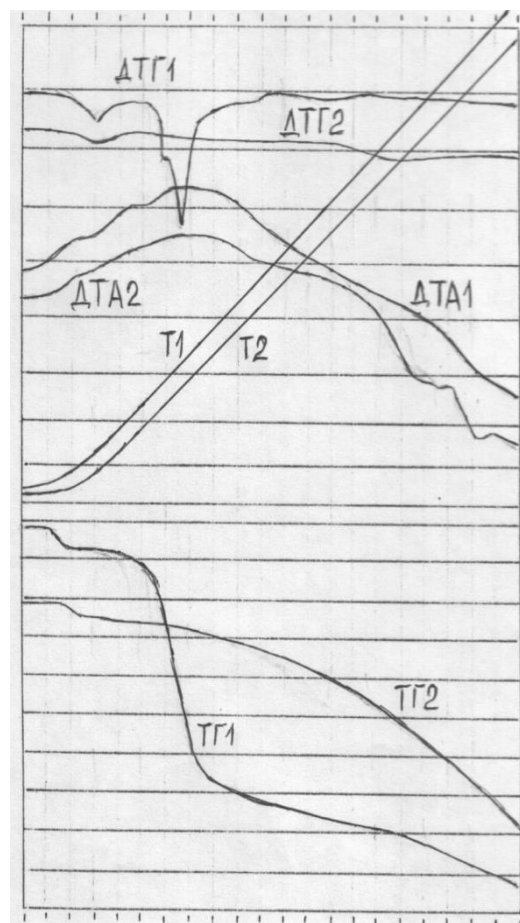


(в)

Рисунок П.1.(V) (а) Термограммы порошка древесины железного дерева, нагретого до 900 °С в течение 100 минут в атмосферах азота (1, навеска образца 354,4 мг) и воздуха (2, навеска образца 388 мг), шкала ТГ 500 мг, (б) Термограмма порошка карбонизата железного дерева (навеска 476,0 мг, шкала ТГ 200 мг), полученная в атмосфере азота, (в) Термограмма порошка карбонизата железного дерева (навеска 455,0 мг, шкала ТГ 500 мг), полученная в воздушной атмосфере (каждая горизонталь нижней шкалы соответствует изменению массы образца на 50 мг)



(а)



(б)

Рисунок П.1.(VI)) Термограммы порошка гуза-паи (1, навеска 250,5 мг, шкала ТГ 500 мг) и полученного из нее карбонизата (2, навеска 278,9 мг, шкала ТГ 200 мг) при нагревании образцов в воздушной атмосфере, (б) Термограммы порошка гуза-паи (1, навеска 188,6 мг, шкала ТГ 200 мг) и полученного из нее карбонизата (2, навеска 308,5 мг, шкала ТГ 200 мг) при нагревании образцов в атмосфере азота.

Таким образом, итогами рассмотрения охарактеризованных термографических показателей являются целесообразными для исследования область температур пиролиза, использованных сырье, ориентированных на получение науглероженного материала (карбонизата), должна, вероятно, находиться выше 400 °С и для активации в пределах от 600 °С до 850 °С.

Приложение П.2. Характеристики поверхности фрагментов использованных отходов в данной работе, их карбонизатов и активных углей.

Электронной микроскопические изображения с использованием СЭМ-фотографии, полученные в ЦКП университета РХТУ им. Менделеева, поверхности воздушно-сухой фрагментов использованных сырь.

Приложение П.2.1. Скорлупы кокосовых орехов.

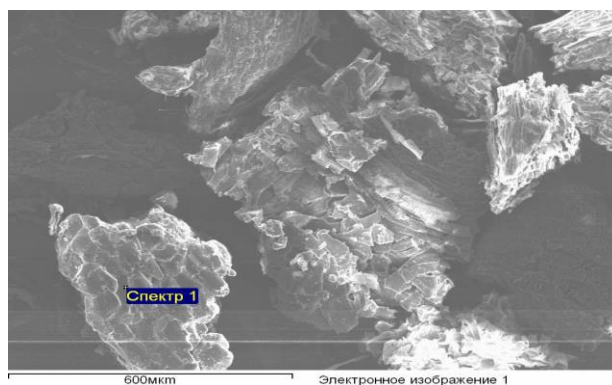


Рисунок П.2.1.(I) Изображения электронной микроскопической поверхности сырья СКО

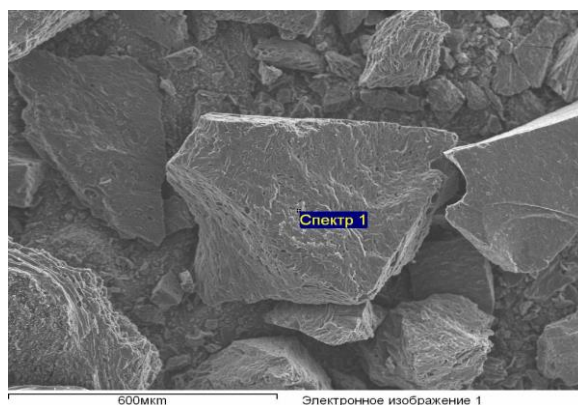


Рисунок П.2.1.(II) Электронное изображение поверхности карбонизата СКО

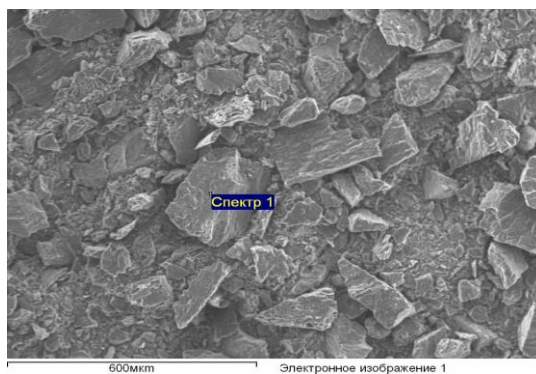


Рисунок. П.2.1.(III) Электронное изображение поверхности активного угля СКО.

Приложение П.2.2. Рисового шелуха.

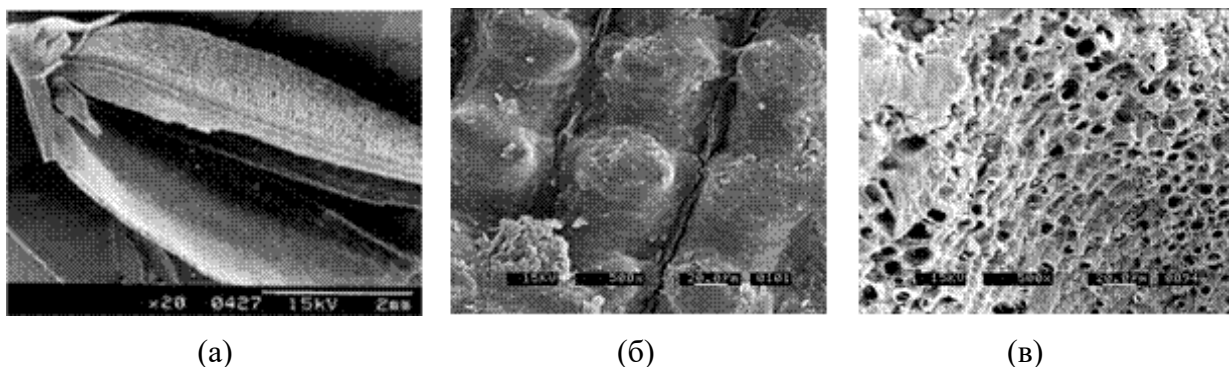


Рисунок П.2.2.(I) Изображения электронной микроскопии сырья РШ
а – шелуха зерна риса, б – поверхность частиц аморфного SiO_2 , полученного из
шелухи риса, с – пористая структура рисовой шелухи

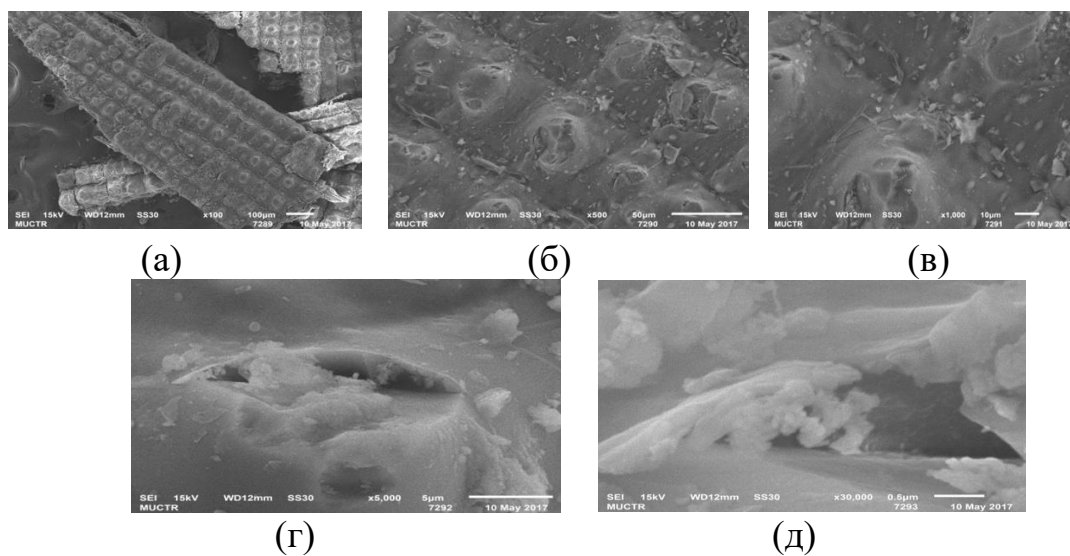


Рисунок. П.2.2.(II) Микрофотографии поверхности фрагментов рисовой шелухи с
кратностью увеличения x100 (а), x500 (б), x1000 (в), x5000 (г), x30000 (д)

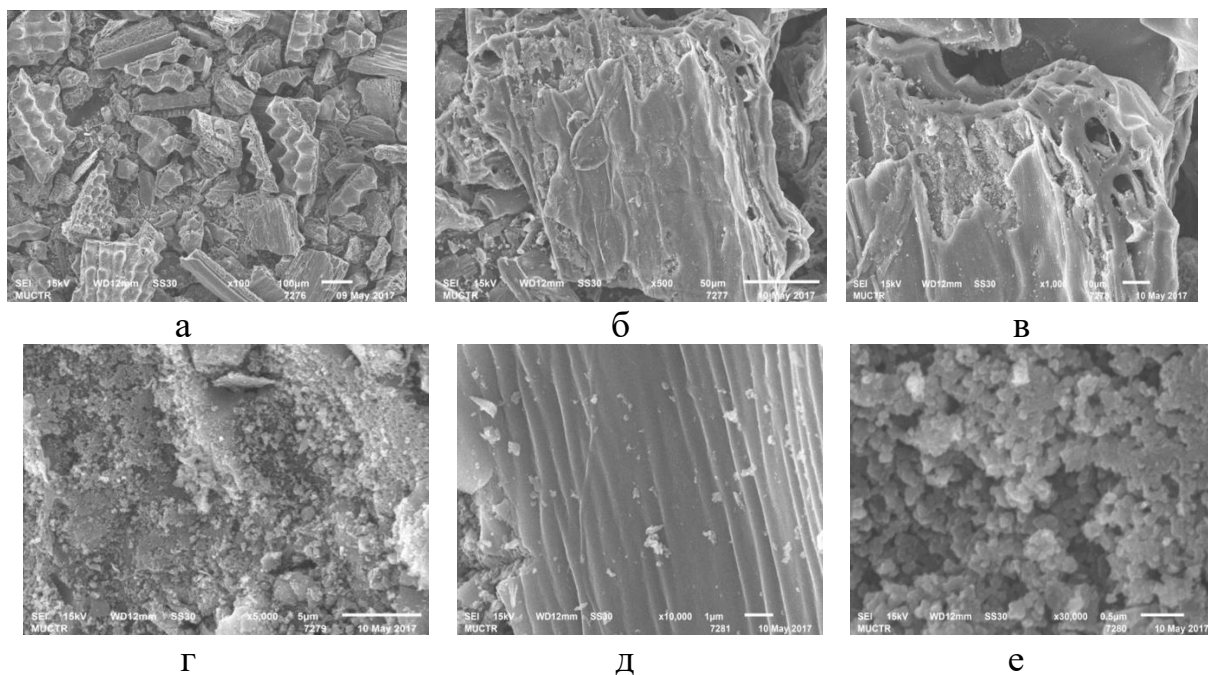


Рисунок. П.2.2.(III) Микрофотографии поверхности фрагментов карбонизата РШ с кратностью увеличения $\times 100$ (а), $\times 500$ (б), $\times 1000$ (в), $\times 5000$ (г), $\times 10000$ (д), $\times 30000$ (е)

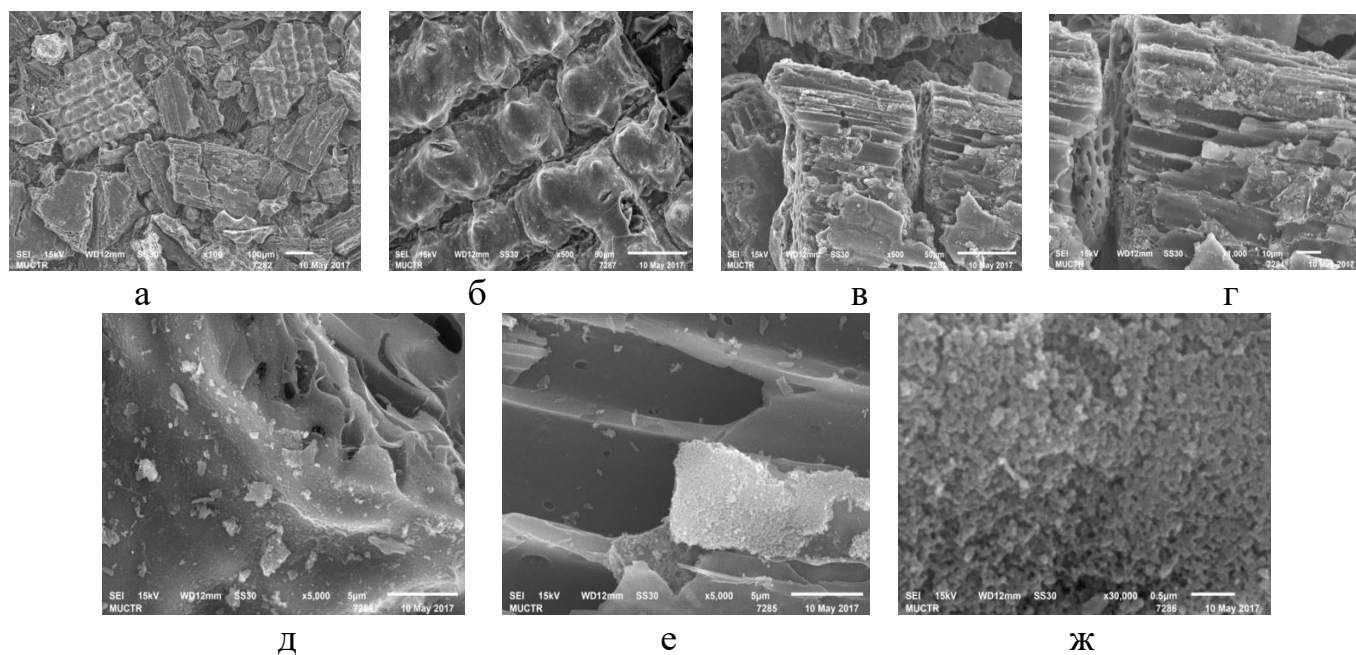


Рисунок. П.2.2.(VI) Микрофотографии поверхности фрагментов кремнеуглеродного адсорбента, полученного из РШ, с увеличением $\times 100$ (а), $\times 500$ (б, в), $\times 1000$ (г), $\times 5000$ (д, е), $\times 30000$ (ж)

Приложение П.2.3. Желеная дерева.

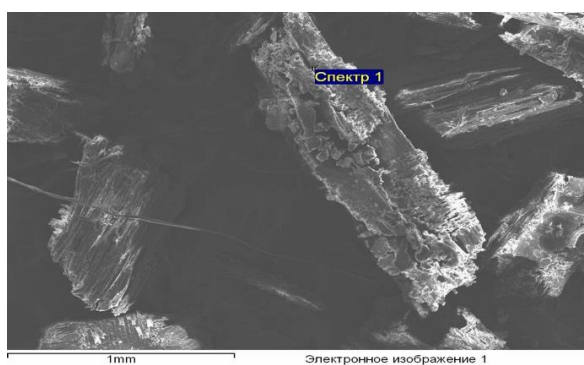


Рисунок П.2.3.(I) Изображения электронной микроскопической поверхности сырья ЖД

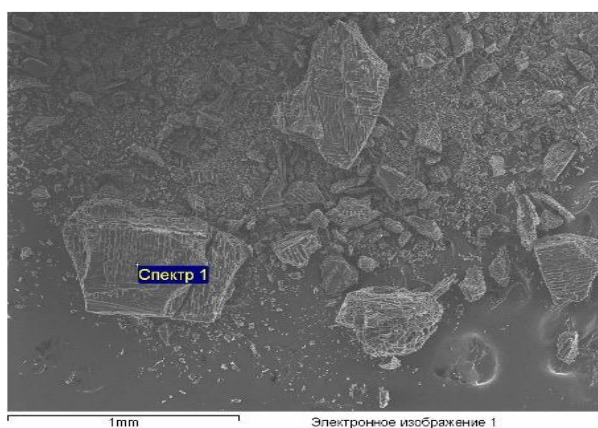


Рисунок П.2.3.(II) Изображения электронной микроскопической поверхности карбонизата ЖД

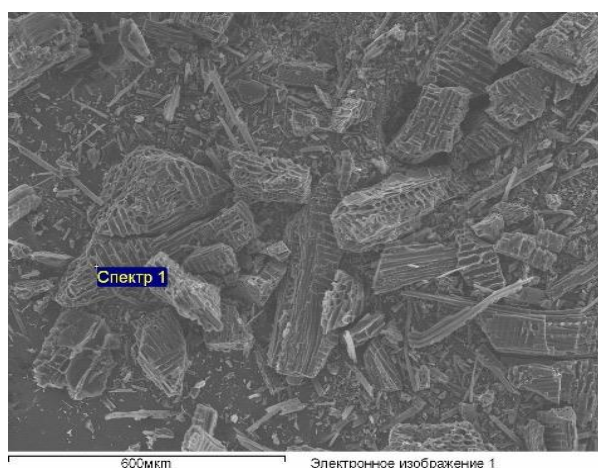


Рисунок П.2.3.(III) Изображения электронной микроскопической поверхности активного угля ЖД

Приложение П.2.4. Оболочек семян манго

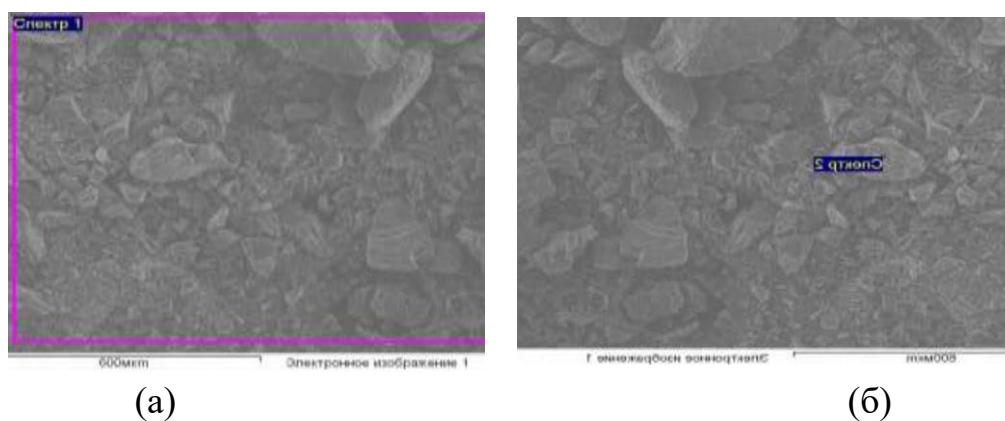


Рисунок П.2.4.(I) Изображения электронной микроскопической поверхности сырья ОСМ

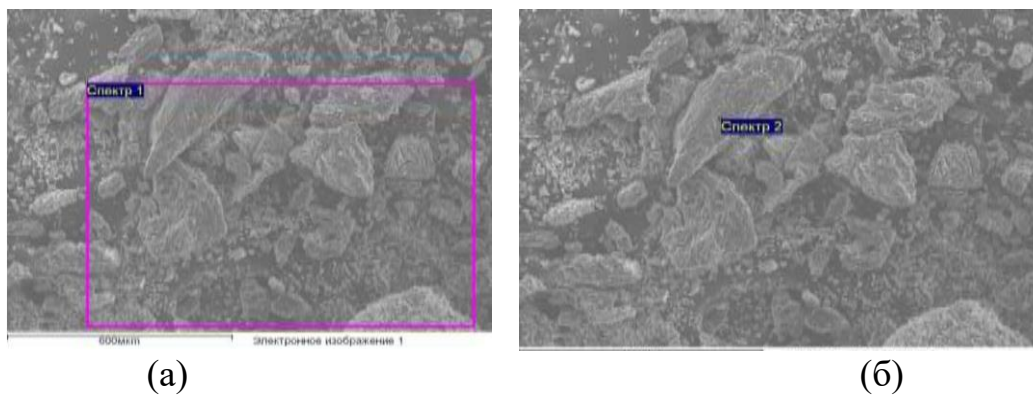


Рисунок П.2.4.(II) Электронное изображение поверхности фрагмента карбонизата оболочек семян манго

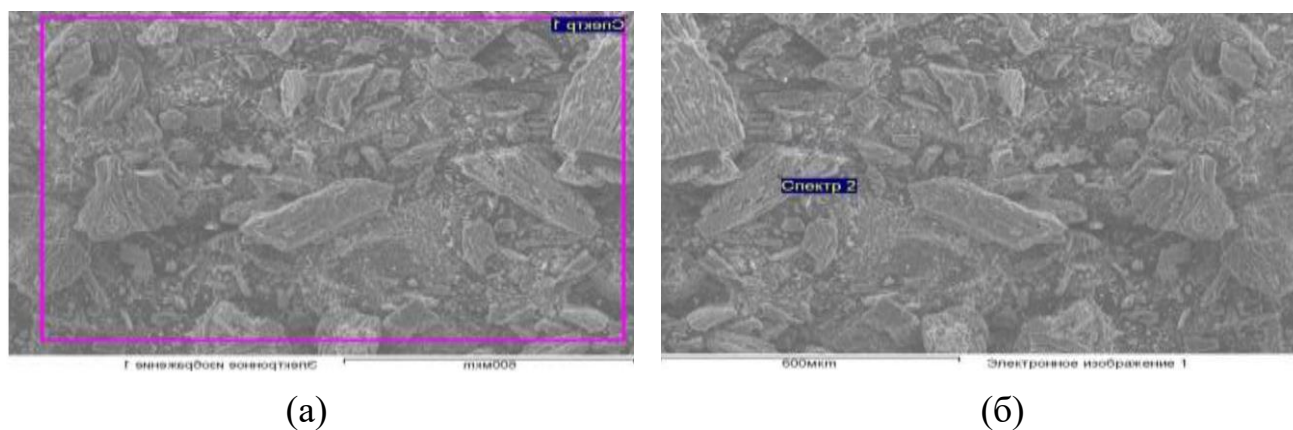


Рисунок П.2.4.(III) Электронное изображение поверхности фрагмента активного угля оболочек семян манго ОСМ.

Приложение П.2.5. Скорлупы косточек сливы

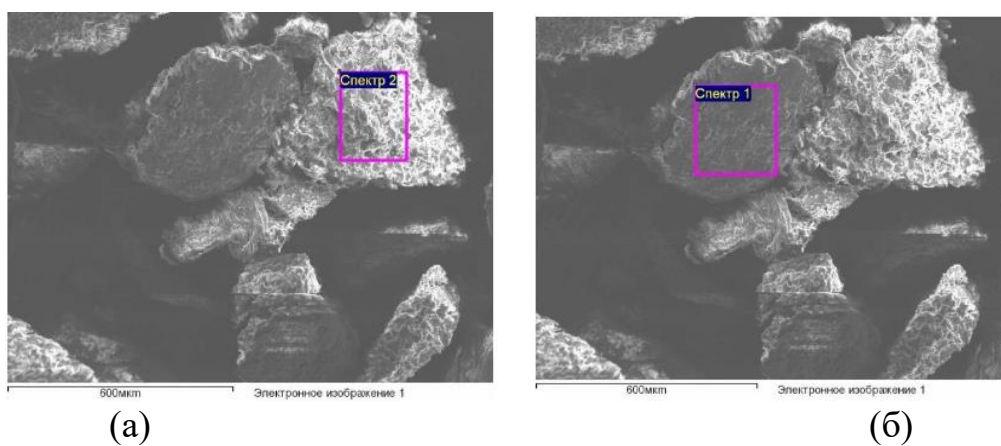


Рисунок П.2.5.(I) Изображения электронной микроскопической поверхности сырья
СКС

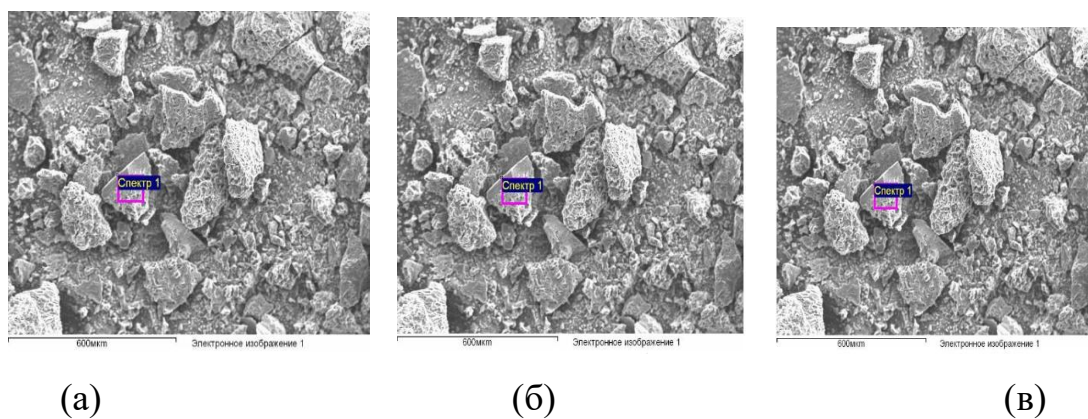


Рисунок П.2.5.(II) Изображения электронной микроскопической поверхности
карбонизата СКС

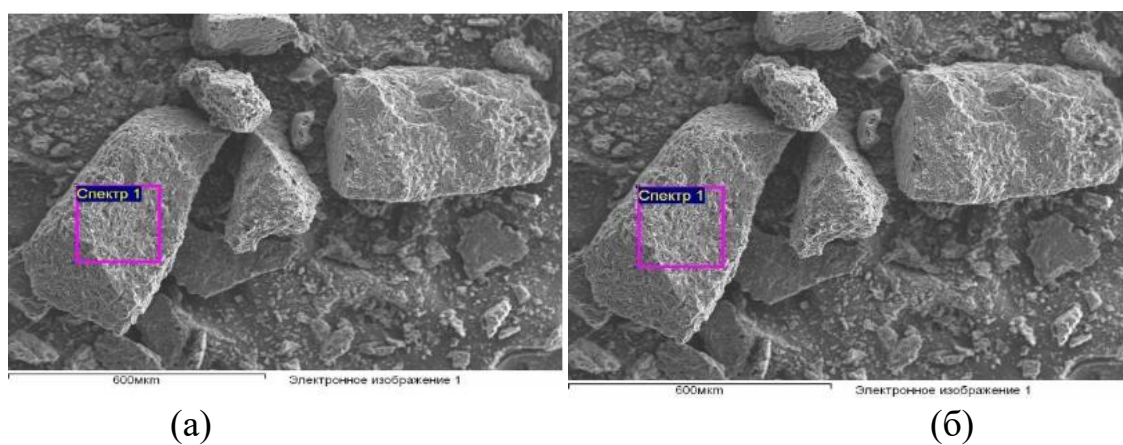


Рисунок П.2.5.(III) Изображения электронной микроскопической поверхности
активного угля СКС

Приложение П.2.6. Гуза-Пай

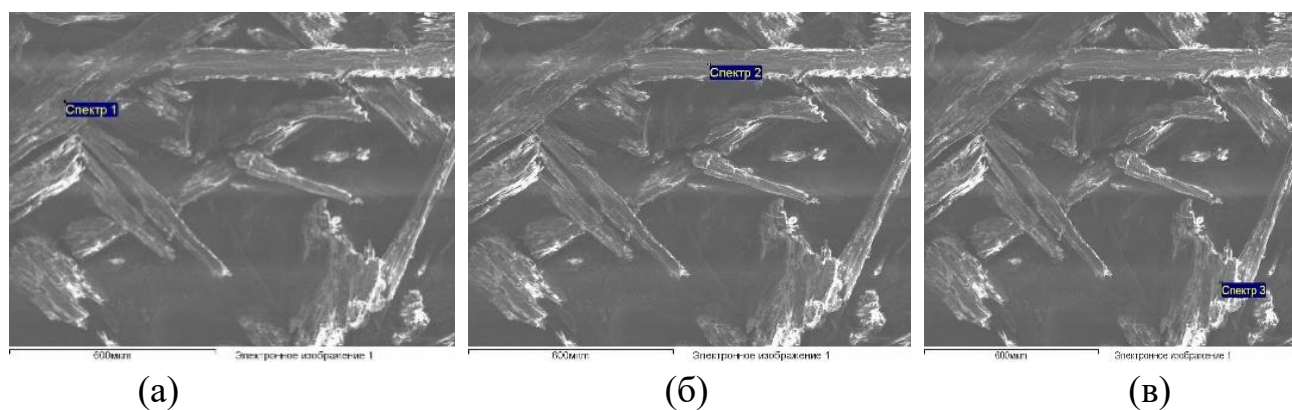


Рисунок П.2.6.(I) Изображения электронной микроскопической поверхности сырья
ГП

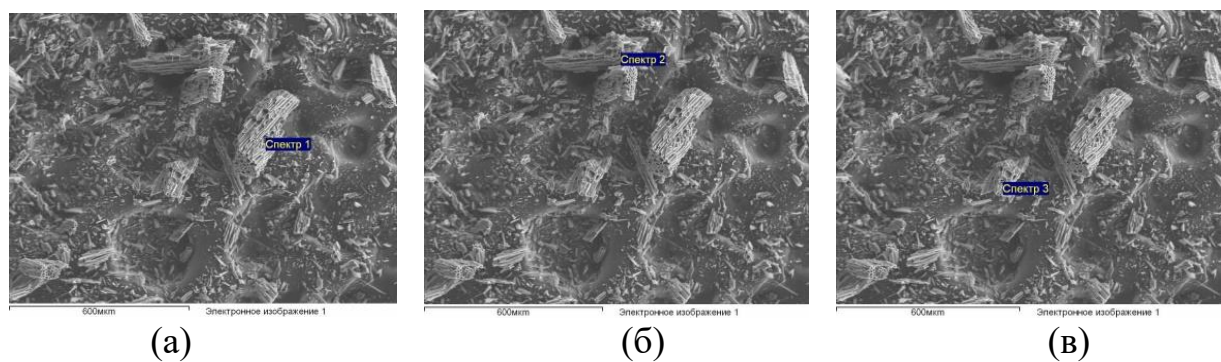


Рисунок П.2.6.(II) Изображения электронной микроскопической поверхности
карбонизата ГП

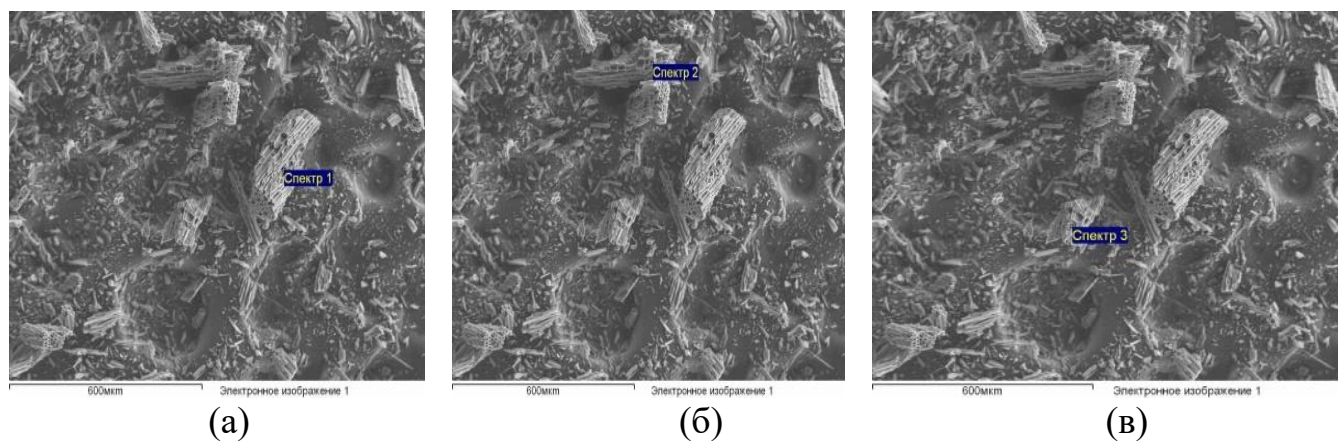


Рисунок П.2.6.(III) Изображения электронной микроскопической поверхности
активного угля ГП

Приложение П.2.7. Коржуры плодов тамаринда

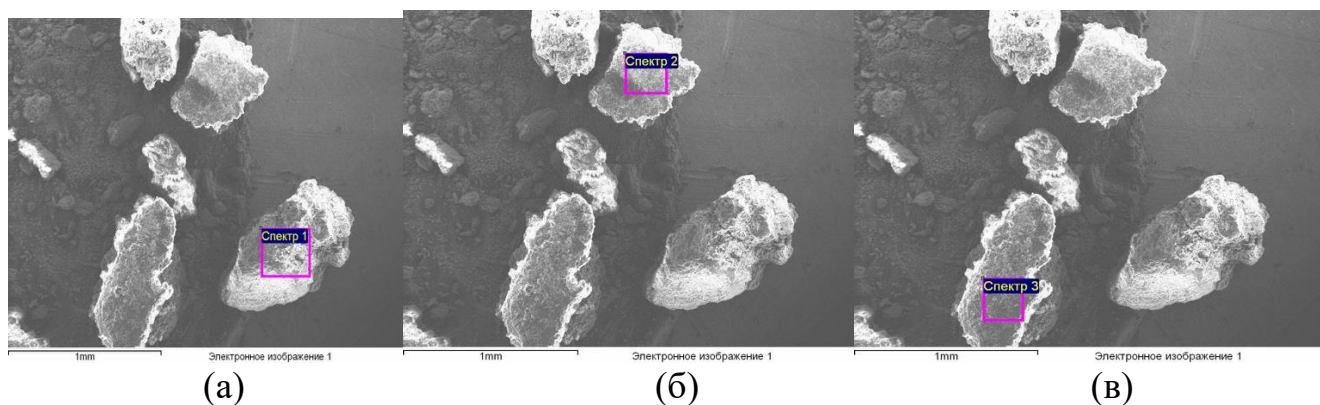


Рисунок П.2.7.(I) Изображения электронной микроскопической поверхности сырья
КПТ

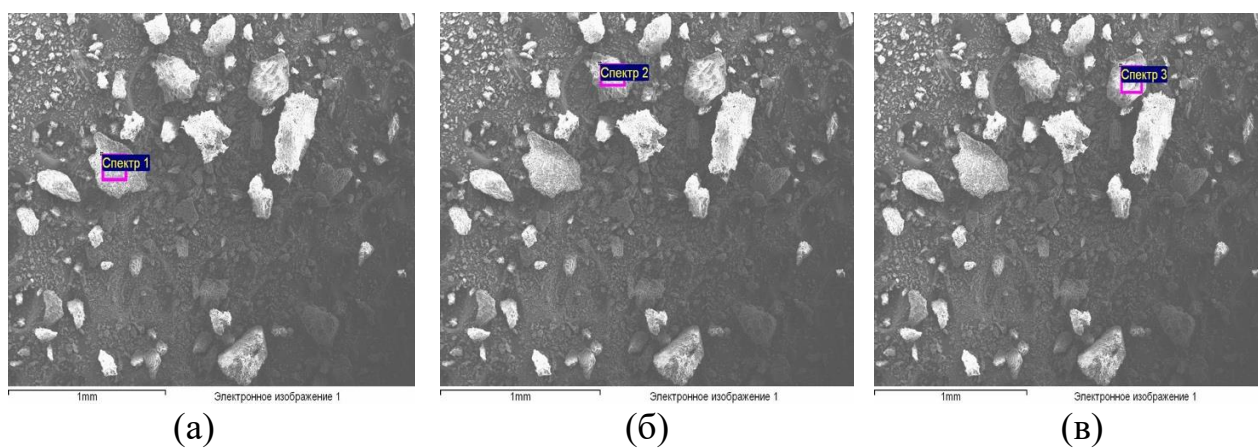


Рисунок П.2.7.(III) Изображения электронной микроскопической поверхности
карбонизата КПТ

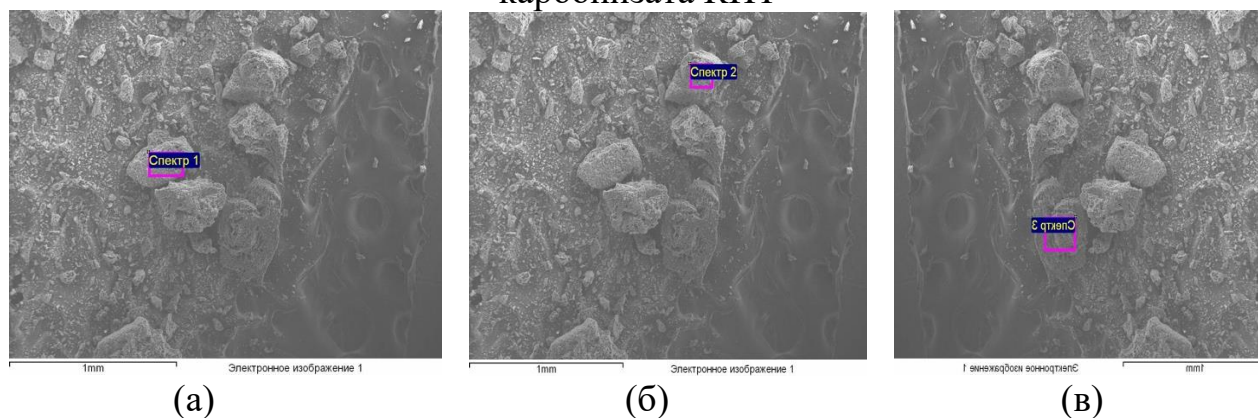


Рисунок П.2.7.(V) Изображения электронной микроскопической поверхности
активного угля КПТ

Приложение П.3. Влияние параметры на пиролиз использованных отходов для получения их карбонизатов

П 3.1. К пиролизу СКО

Изучение рациональных условий переработки скорлупы кокосовых орехов (карбонизации) выполнены с экспериментальными исследованиями влияния ключевых факторов этого процесса - интенсивности нагревания сырья до конечной температуры, длительности его обработки при этой температуре, а также уровня последней на рациональное сочетание показателей качества и выхода целевого продукта. Результаты серии экспериментов данной направленности, выполненных при конечных температурах пиролиза СКО, составляющих 650, 700 и 750 °С, сведены в табл. П.3.1.(I).

Таблица П.3.1.(I) Технические характеристики продуктов пиролиза СКО при скорости ее нагрева 15 °С/мин. до различных температур с выдержкой при конечной температуре в течение 180 мин

Показатель	Конечная температура, °С:		
	650	700	750
Поглотительная способность [см ³ /г]/[мг/г] по:			
С ₆ H ₆	0,155/136	0,16/141	0,13/114
H ₂ O	0,145/145	0,152/152	0,156/156
CCl ₄	0,017/27	0,03/48	0,025/40
I ₂ , %	38,1	40	25,4
МГ, мг/г	4,2	5,3	3,0
V _{ΣH₂O}	0,4	0,35	0,4
Выход, %	28,2	25,3	23,6

Данные табл. П.3.1. (I) указывают на рациональность карбонизации СКО в условиях ее нагрева до температур близких 700 °С. Как следует из таблицы П–3.1.(I), зависимости величин показателей от температуры в охарактеризованных условиях пиролиза могут быть описаны следующими эмпирическими уравнениями: для $a_{C_6H_6} = f(2,2T)$, $a_{H_2O} = f(1,1T)$, $a_{CCl_4} = f(1,3T)$, $I = f(0,13T)$, $МГ = f(0,012T)$, $V_{\Sigma H_2O} = f(0,38T)$, $выход = f(0,05T)$. Из данной табл. П.3.1. (I) указывают на рациональность карбонизации СКО в условиях ее нагрева до температур близких 700 °С. Результаты, полученные при

нагревании этого сырья с различными скоростями в интервале 5–15 °С/мин до выбранной конечной температуры, отражают данные табл. П.3.1.(II).

Таблица П.3.1.(II) - Технические характеристики продуктов пиролиза отходов СКО при их нагревании с различной интенсивностью до 700 °С без изотермической выдержки

Отход	Показатель	Интенсивность нагрева, °С/мин.			Величина i
		5	10	15	
СКО	Поглотительная способность [см ³ /г] по:				
	С ₆ Н ₆	0,14	0,13	0,127	0,001
	Н ₂ О	0,06	0,07	0,077	0,002
	ССl ₄	0,06	0,04	0,02	0,004
	V _{ΣH2O}	0,78	0,81	0,84	0,006
	I ₂ , мг/г	76,2	177,8	211,3	13,5
	МГ, мг/г	4,1	4,3	4,6	0,05
	Выход, %	30	35	40	1,00

* i - величина функции

Из данных табл. П.3.1. (II) следует, что в названных условиях пиролиза наиболее целесообразна карбонизация СКО при ее нагреве с интенсивностью 15°С/мин. Полученные зависимости величин показателей от интенсивности нагрева в охарактеризованных условиях пиролиза могут привести значения эмпирических зависимостей «показатель=f(i . интенсивность нагревания)». Результаты оценки воздействия на целевые продукты, получаемые нагреванием СКО с интенсивностью 15 °С/мин, времени пиролиза при 700 °С сведены в табл П.3.1.(III).

Таблица П.3.1.(III) Технические характеристики карбонизатов, полученных при пиролизе СКО со скоростью нагревания 15 °С/мин до 700 °С и различной длительности обработки при этой температуре

Показатель	Величина, i	Время выдержки, мин.				
		30	60	120	180	300
Поглотительная способность [см ³ /г]/[мг/г] по:						

C ₆ H ₆	0,001	0,11/97	0,12/105	0,14/123	0,16/141	0,135/119
H ₂ O	0,003	0,08/80	0,09/90	0,12/120	0,15/150	0,145/145
CCl ₄	0,005	0,036/57	0,03/49	0,038/61	0,031/49	0,038/61
I ₂ , %	0.03	21,6	29,4	33,0	40,3	31,8
МГ, мг/г	0.05	3,6	4,2	5,3	5,3	5,3
Выход, %	0.004	38,15	32,35	28,00	25,00	22,50

Сопоставление данных табл. П.3.1.(III) свидетельствует о наибольшей целесообразности термообработки СКО при указанной температуре в течение 180 мин.

В заключение проведенного исследования процесса пиролиза СКО можно отметить, что оптимальные условия для достижения приемлемых выходов и поглотительных характеристик целевого продукта связаны с параметрами нагрева сырья до конечной температуры, временем его обработки и самой температурой. Эти параметры составляют примерно 15 °С/мин, 180 минут и 700 °С соответственно.

П.3.2. К пиролизу скорлупы косточек сливы (СКС)

Целью получения углеродных адсорбентов является диапазон температур от 500 до 700 °С. В связи с этим, исследование оптимальных условий пиролиза фрагментов оболочек косточек сливы (СКС) началось с анализа влияния температурного фактора на технические характеристики получаемого науглероженного продукта (карбонизата). Результаты исследования представлены в табличных видах.

Таблица П.3.2.(I) Технические характеристики карбонизатов, полученных при пиролизе СКС со скоростью нагревания 5–15 °С/мин до 650 °С без изотермической выдержки

Отход	Показатель	Интенсивность нагрева, °С/мин.		
		5	10	15
СКС	Поглотительная способность [см ³ /г]/[мг/г] по:			

	C ₆ H ₆	0,07	0,1	0,07
	H ₂ O	0,07	0,1	0,07
	CCl ₄	0,11	0,11	0,14
	V _{ΣH₂O}	0,59	0,59	0,63
	I ₂ , мг/г	108	88	93
	МГ, мг/г	4,1	4,0	3,5
	Выход, %	31	31	30

Согласно данным таблицы Таблица П.3.2.(I), при указанных условиях пиролиза наиболее целесообразным является нагрев с интенсивностью 15 °С/мин, а также определение параметров конечной температуры и времени изотермической выдержки на основе полученных результатов из таблицы Таблица П.3.2.(II).

Таблица П.3.2.(II) Влияние конечной температуры пиролиза отзодов (СКС) на технические характеристики карбонизата (интенсивность нагрева сырья 15°С/мин)

Отход	Показатель	Конечная температура, °С		
		550	600	650
СКС	Поглотительная способность [см ³ /г] по:			
	C ₆ H ₆	0,04	0,12	0,08
	H ₂ O	0,06	0,10	0,08
	CCl ₄	0,04	0,11	0,08
	V _{ΣH₂O}	0,5	0,59	0,58
	I ₂ , мг/г	101	89	89
	МГ, мг/г	4,6	4,6	4,6
	Выход, %	31	31	31

Данные, представленные в таблице П.3.2.(II), свидетельствуют о целесообразности выбора конечной температуры пиролиза, равной 600 °С, для дальнейшего исследования.

Таблица П.3.2.(III) – Влияние длительности изотермической выдержки сырья при конечной температуре пиролиза 600 °С на технические характеристики карбонизата (интенсивность нагревания 15 °С/мин)

Отход	Показатель	Длительности изотермической выдержки, мин			
		0	30	60	120

СКС	Поглотительная способность [см ³ /г]/[мг/г] по:				
	C ₆ H ₆	0,12	0,11	0,07	0,04
	H ₂ O	0,10	0,01	0,08	0,07
	CCl ₄	0,11	0,07	0,03	0,03
	V _{ΣH₂O}	0,59	0,67	0,68	1,8
	I ₂ , мг/г	89	93	75	76
	МГ, мг/г	4,6	4,7	3,5	4,8
	Выход, %	31	30	28	26

Изучение данных, представленных в таблице П.3.2.(III) дает возможность сделать вывод о том, что при оптимизации сорбирующих пор и снижении энергетических затрат целесообразно выбрать нет продолжительности изотермической выдержки.

Таким образом, оптимальными условиями для процесса пиролиза считаются скорость нагрева сухого сырья в воздухе на уровне 15°С в минуту, достигнутая температура 600°С и без времени поддержания данной температуры.

П.3.3. К пиролизу отходов рисового шелуха (РШ)

Таблица П.3.3.(I) - Технические характеристики карбонизатов, полученных при пиролизе РШ со скоростью нагревания 5–15 °С/мин до 650 °С без изотермической выдержки

Отход	Показатель	Интенсивность нагрева, °С/мин.		
		5	10	15
РШ	Поглотительная способность [см ³ /г]/[мг/г] по:			
	C ₆ H ₆	0,1	0,1	0,1
	H ₂ O	0,1	0,1	0,11
	CCl ₄	0,1	0,09	0,09
	V _{ΣH₂O}	1,4	1,4	1,4
	I ₂ , мг/г	67	68	70
	МГ, мг/г	290	288	285
	Выход, %	42	43	43

Из данных табл. П.3.3.(II) следует, что наиболее целесообразную величину интенсивности нагревания РШ при ее карбонизации составляют 15 °С/мин.

Таблица П.3.3.(II) Технические характеристики продуктов пиролиза РШ при скорости ее нагрева 15 °С/мин. до различных температур и времени выдержки при конечной температуре 20 мин.

Температура пиролиза, °С	Показатель продукта и его размерность						
	V_{Σ} , см ³ /Г	$V_{S\ H_2O}$, см ³ /Г	$V_{S\ CCl_4}$, см ³ /Г	$V_{S\ C_6H_6}$, см ³ /Г	J_2 , мг/Г	МГ, мг/Г	Выход, %
500	1,30	0,05	0,04	0,06	65	255	43,7
600	1,36	0,08	0,08	0,08	67	290	41,7
650	1,37	0,10	0,10	0,10	69	300	41,0
700	1,38	0,11	0,09	0,10	73	305	39,3
750	1,37	0,10	0,10	0,09	77	310	39,5
800	1,34	0,08	0,07	0,08	83	320	38,9
900	1,26	0,09	0,07	0,08	88	320	37,8

Результаты визуального анализа фрагментов целевых продуктов пиролиза РШ позволяют констатировать, что при конечной температуре этого процесса 900 °С среди общей массы науглероженных черных частиц его остатка имеются единичные, местами приобретшие серо-белый цвет, что свидетельствует о некотором сокращении доли науглероженных фрагментов и начинающемся озолении карбонизата. С учетом этого и величин параметров табл. П.3.3.(II) целесообразна карбонизация РШ в условиях ее нагрева до температур близких 650 °С.

Таблица П.3.3.(III) - Технические характеристики карбонизатов, полученных при пиролизе РШ с интенсивностью нагревания 15 °С/мин до 650 °С и различной длительности обработки при этой температуре

Время выдержки, мин.	V_{Σ} , см ³ /Г	$V_{S\ H_2O}$, см ³ /Г	$V_{S\ CCl_4}$, см ³ /Г	$V_{S\ C_6H_6}$, см ³ /Г	J_2 , мг/Г	МГ, мг/Г	Выход, %
0	1,37	0,11	0,09	0,10	66	285	42,7
20	1,36	0,12	0,06	0,11	68	305	42,5
30	1,37	0,12	0,08	0,11	71	307	42,4
60	1,35	0,11	0,08	0,10	71	311	41,3
120	1,30	0,11	0,07	0,10	72	318	39,0
180	1,27	0,10	0,06	0,09	78	329	36,7

Сведения, представленные в табл. П.3.3.(III), позволяют констатировать 30-минутную обработку РШ при конечной температуре пиролиза в качестве наиболее приемлемой величины исследуемого параметра в рассматриваемых условиях реализации процесса. Характерен также некоторый прирост с увеличением длительности выдерживания материала при 650 °С величин поглощения йода и метиленового голубого, сопровождаемый, однако, снижением выхода целевого продукта.

Совокупность данных, охарактеризованных в табл. П.3.3(I, II и III), позволяет заключить, что для пиролизной переработки использованной для исследования РШ с целью получения науглероженного материала (карбонизата) с удовлетворительным сочетанием величин выхода и обозначенных технических характеристик целесообразны ее нагрев с интенсивностью 15 °С/мин до 650 °С и изотермическая выдержка целевого продукта при этой температуре длительностью 30 мин.

П.3.4. Исследование пиролиза отходов коржур плодов тамаринда (КПТ)

Таблица. П.3.4.(I) Технические показатели пиролиза коржур плодов тамаринда (КПТ) при разных температурах от 350°С до 500°С с интенсивностью 10 ° С/мин без изотермических выдержки

Т (°С)	I (мг/г)	МГ (мг/г)	VΣ (см ³ /г)	Vs (см ³ /г)			Выход (%)
				C ₆ H ₆	CCl ₄	H ₂ O	
350	254,00	320,00	0,8	0,055	0,013	0,0521	53,65
400	245,10	340,25	0,9	0,043	0,015	0,050	53,10
450	165,1	331,897	0,7	0,044	0,016	0,052	49,73
500	127	320,00	1,0	0,064	0,018	0,054	49,56

Таблица. П.3.4.(II) Технические показатели пиролиза коржур плодов тамаринда (КПТ) с интенсивностью 10 °С /мин при разных времени выдержки 0,30,60,120 и 180 минуты перспективно при температуре 350 °С

t (мин)	I (мг/г)	МГ (мг/г)	VΣ (см ³ /г)	Vs (см ³ /г)			Выход (%)
				C ₆ H ₆	CCl ₄	H ₂ O	

0	254,00	366,00	0,8	0,055	0,013	0,0520	53,65
30	381,00	333,687	0,7	0,0204	0,023	0,11	53,12
60	390,50	320,22	0,7	0,081	0,040	0,23	52,03
120	440,1	352,56	0,9	0,020	0,033	0,13	46,00
180	446,72	281,61	0,8	0,021	0,015	0,11	45,16

Таблица. П.3.4.(III) Технические показатели пиролиза коржур плодов тамаринда (КПТ) при разных интенсивностях 5,10,15 и 20 °С/мин при температуре 350 °С с выдержкой 60 мин.

Интенсивность (°С/мин)	I (мг/г)	МГ (мг/г)	VΣ (см³/г)	Vs (см³/г)			Выход (%)
				C ₆ H ₆	CCl ₄	H ₂ O	
5	184,00	366,00	0,6	0,044	0,075	0,161	52,87
10	390,50	320,22	0,7	0,040	0,081	0,23	52,03
15	444,50	320,22	0,85	0,040	0,088	0,137	45,34
20	317,50	353,448	0,6	0,042	0,054	0,07	43,00

Анализ данных, представленных в таблицах П.3.4.(I, II и III) , показывает, что оптимальные условия пиролитической обработки исследуемого отхода (КПТ) для получения карбонизата с хорошим балансом между выходом конечного продукта и заданными техническими характеристиками включают нагрев со скоростью 15 °С/мин до температуры 650 °С и без изотермической выдержки полученного материала при указанной температуре.

П.3.5. Исследование пиролиза отходов оболочек семян манго (ОСМ)

Таблица П.3.5.(I) Технические характеристики карбонизатов, полученных при пиролизе ОСМ со скоростью нагревания 5–15 °С/мин до 550 °С без изотермической выдержки

Отход	Показатель	Интенсивность нагрева, °С/мин.		
		5	10	15
ОСМ	Поглотительная способность [см³/г]/[мг/г] по: C ₆ H ₆	0,16	0,13	0,15

	H ₂ O	0,06	0,12	0,07
	CCl ₄	0,05	0,02	0,05
	V _{ΣH₂O}	1,4	1,4	1,4
	I ₂ , мг/г	150	180	230
	МГ, мг/г	3,9	4,5	3,3
	Выход, %	23	22	22

Таблица П.3.5.(II) Технические характеристики карбонизатов, полученных нагреванием сырья ОСМ с интенсивностью 15 °С/мин до различных температур с изотермической выдержкой длительностью 60 мин

Т (°С)	I (мг/г)	МГ (мг/г)	V _Σ (см ³ /г)	V _s (см ³ /г)			Выход (%)
				C ₆ H ₆	CCl ₄	H ₂ O	
550	452,00	3,2	0,23	0,13	0,064	0,10	26,65
600	245,10	4,5	1,24	0,13	0,016	0,12	22,33
650	270,1	3,4	0,93	0,11	0,027	0,09	23,00
700	210,0	4,5	1,4	0,13	0,003	0,011	21,00

Таблица П.3.5.(III) Технические характеристики карбонизатов, полученных нагреванием сырья ОСМ с интенсивностью 10 °С/мин до 600 °С с изотермической выдержкой различной длительности

t (мин)	I (мг/г)	МГ (мг/г)	V _Σ (см ³ /г)	V _s (см ³ /г)			Выход (%)
				C ₆ H ₆	CCl ₄	H ₂ O	
0	254,00	3,6	0,82	0,07	0,02	0,10	25,4
30	294,2	3,59	0,87	0,17	0,05	0,17	24,8
60	348,5	3,88	1,45	0,16	0,05	0,06	24,0
120	284,5	2,70	1,01	0,12	0,03	0,07	23,7
180	330,5	2,73	1,14	0,12	0,04	0,11	22,61

Совместная интерпретация сведений, представленных в таблицах П.3.5. (I, II и III) позволяет определить оптимальный набор параметров, включающий скорость нагрева 10 °С/мин, конечную температуру 600 °С и продолжительность термической обработки 30 минут, что обеспечивает наиболее эффективное проведение указанного технологического процесса.

П.3.6. К пиролизу отходов железного дерева (ЖД)

Таблица П.3.6.(I) Технические характеристики карбонизатов, полученных при нагревании сырья железного дерева (ЖД) с интенсивностью 15°C/мин до различных температур с длительностью изотермической выдержки при конечной температуре 60 мин.

Показатель	Конечная температура, °C				
	500	550	600	650	700
V_{sH_2O} , см ³ /Г	0,102	0,139	0,120	0,116	0,114
V_{sCCl_4} , см ³ /Г	0,035	0,036	0,035	0,032	0,033
$V_{sC_6H_6}$, см ³ /Г	0,143	0,160	0,139	0,134	0,135
$V_{\Sigma H_2O}$	0,70	0,72	0,95	1,10	1,12
F, мг/Г	415	416	410	406	394
МГ, мг/Г	1,67	1,79	1,81	1,84	1,88
Выход, %	28,0	27,4	26,1	26,0	25,4

Таблица П.3.6.(II) Технические характеристики карбонизатов, полученных при нагревании сырья железного дерева (ЖД) с различной интенсивностью до 550 °C и длительности изотермической выдержки при этой температуре 60 мин.

Показатель	Подъем температуры нагрева, °C/мин.		
	10	15	20
V_{sH_2O} , см ³ /Г	0,07	0,14	0,07
V_{sCCl_4} , см ³ /Г	0,04	0,04	0,02
$V_{sC_6H_6}$, см ³ /Г	0,13	0,16	0,15
$V_{\Sigma H_2O}$	0,70	0,72	0,69
I, мг/Г	365	420	380
МГ, мг/Г	1,8	1,78	1,77
Выход, %	28,5	27,5	26,5

Таблица П.3.6.(III) - Технические характеристики карбонизатов, полученных при нагревании сырья железного дерева (ЖД) с интенсивностью 15 °C/мин. до 550 °C и различной длительностью изотермической выдержки при этой температуре

Показатель	Время изотермической выдержки, мин.				
	30	60	90	120	180
V_{sH_2O} , см ³ /Г	0,110	0,139	0,090	0,088	0,084

V_{CCl_4} , см ³ /г	0,018	0,036	0,023	0,021	0,020
$V_{\text{C}_6\text{H}_6}$, см ³ /г	0,120	0,160	0,140	0,120	0,110
$V_{\text{H}_2\text{O}}$	0,70	0,72	0,67	0,60	0,57
F, мг/г	394	416	300	287	280
МГ, мг/г	1,67	1,79	1,5	1,5	1,5
Выход, %	26,0	27,4	27,6	30,0	27,0

На основании данных табл. П.3.6.(I, II и III), оптимальными условиями пиролиза сырья следует констатировать интенсивность его нагревания 15 °С/мин. до температуры 550 °С с длительностью выдержки при ней 60 мин. Выход зауглероженного продукта пиролиза древесины железного дерева в этих условиях близок 28 %, существенно отличаясь от такового, колеблющегося в пределах 33-38 % и значительно обусловленного породой древесины и режимом процесса пиролиза.

П.3.7. Исследование пиролиза отходов гуза пай (ГП)

Таблица П.3.7.(I) Влияние интенсивности пиролиза сырья гуза пай до 650 °С на технические характеристики карбонизатов

Интенсивность нагревания, °С/мин	V_{Σ} , см ³ /г	V_s , см ³ /г			МГ, мг/г	I_2 , мг/г	Выход, %
		H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆			
5	1,78	0,07	0,02	0,04	4,8	76,2	30,66
10	1,74	0,09	0,03	0,09	4,8	76,8	29,16
15	1,75	0,12	0,04	0,13	4,8	80,0	27,16
20	1,64	0,11	0,05	0,12	4,2	69,9	25,96

Таблица П.3.7.(II) Влияние конечной температуры пиролиза сырья гуза пай на технические характеристики карбонизатов (интенсивность нагревания 15 °С/мин, без изотермической выдержки)

Предельная температура, °С	V_{Σ} , см ³ /г	V_s , см ³ /г			МГ, мг/г	I_2 , мг/г	Выход, %
		H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆			
500	1,51	0,10	0,02	0,09	4,19	53,3	29,26
550	1,52	0,09	0,02	0,10	4,79	58,1	29,03
600	1,56	0,08	0,02	0,10	6,98	63,6	28,90

650	1,58	0,11	0,02	0,10	7,70	68,0	28,06
700	1,60	0,09	0,03	0,10	7,78	76,2	27,60
750	1,62	0,10	0,03	0,10	7,78	82,5	27,16

Таблица П.3.7.(III) Влияние длительности изотермической выдержки на технические характеристики карбонизатов гуза пая (интенсивность нагревания 10 °С/мин, конечная температура 750 °С)

Длительность выдержки, мин	V _Σ , см ³ /Г	V _s , см ³ /Г			МГ, мг/Г	I ₂ , мг/Г	Выход, %
		H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆			
0	1,58	0,07	0,02	0,09	8,08	76,2	28,50
10	1,51	0,09	0,03	0,12	8,17	72,4	28,06
30	1,44	0,09	0,03	0,12	8,29	68,6	26,60
60	1,38	0,11	0,04	0,13	8,38	67,8	26,13
120	1,46	0,09	0,03	0,11	10,18	63,5	25,01

Из результаты таблиц П.3.7.(I, II и III) сочетание интенсивности нагревания сырья в 10 °С/мин, конечной температуры 750 °С и длительности изотермической выдержки при ней полученного карбонизата 60 мин можно рассматривать как целесообразные условия пиролиза, обеспечивающие как практически приемлемые технические характеристики целевого продукта, так и его значительный выход.

П.3.8. К пиролизу отходов букетов роз (БР)

Таблица П.3.8.(I) Технические характеристики карбонизатов, полученных при пиролизе БР со скоростью нагревания 5–15 °С/мин до 350 °С без изотермической выдержки

Отход	Показатель	Интенсивность нагрева, °С/мин.		
		5	10	15
ОСМ	Поглотительная способность [см ³ /Г]/[мг/Г] по:			
	C ₆ H ₆	0,12	0,15	0,15
	H ₂ O	0,03	0,06	0,07
	CCl ₄	0,02	0,03	0,04
	V _{ΣH₂O}	0,5	0,7	0,8
	I ₂ , мг/Г	250	350	348
	МГ, мг/Г	30,9	45,5	45,0
	Выход, %	43	42	42

Таблица П.3.8.(II) Технические характеристики карбонизатов, полученных нагреванием сырья БР с интенсивностью 10 °С/мин до различных температур с изотермической выдержкой длительностью 60 мин

Т (°С)	I (мг/г)	МГ (мг/г)	V _Σ (см ³ /г)	V _s (см ³ /г)			Выход (%)
				C ₆ H ₆	CCL ₄	H ₂ O	
350	325	30,2	0,9	0,006	0,064	0,015	42
400	355	45,3	1,3	0,010	0,010	0,020	41
450	270,1	33,4	0,93	0,011	0,017	0,013	39
500	-	-	-	-	-	-	-

Таблица П.3.8.(III) Технические характеристики карбонизатов, полученных нагреванием сырья ОСМ с интенсивностью 10 °С/мин до 600 °С с изотермической выдержкой различной длительности

t (мин)	I (мг/г)	МГ (мг/г)	V _Σ (см ³ /г)	V _s (см ³ /г)			Выход (%)
				C ₆ H ₆	CCL ₄	H ₂ O	
0	355	45,3	1,3	0,010	0,010	0,020	41
30	270	33,5	0,9	0,017	0,005	0,017	35
60	248	30,8	0,5	0,016	0,005	0,006	32

По результатам представленных в таблицах П.2.8. (а, в и б) обеспечивает возможность установить оптимальные параметры - скорость нагрева 10 °С/мин, конечную температуру 400 °С и без термической времени выдержки.

Приложение П.4. К активации полученных карбонизатов

П.4.1. Обоснование рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из скорлупы кокосовых орехов (СКО) водяным паром

Таблица П.4.1.(I) Технические характеристики продуктов активации карбонизата СКО при его нагревании с интенсивностью 15 °С/мин. до 850 °С и различными удельными расходами водяного пара

Показатель	Расход водяного пара, кг на 1 кг целевого продукта:		
	3	5	7
Поглотительная способность [см ³ /г]/[мг/г] по:			
С ₆ Н ₆	0,30	0,207	0,176
Н ₂ О	0,38	0,35	0,30
ССl ₄	0,07	0,039	0,029
I ₂ , мг/г	660,4	633,6	609,6
МГ, мг/г	230,7	236,9	231,1
V _{ΣH₂O}	0,36	0,32	0,30
Выход, % от сырья	15,91	13,07	10,72

Таблица П.4.1.(II) Технические характеристики активных углей, полученных при активации карбонизата СКО в условиях его нагревания при удельном расходе водяного пара 3 кг/кг со скоростью 15 °С/мин до 850 °С и различной длительности обработки при этой температуре

Показатель	Длительность выдержки при конечной температуре, мин.:	
	30	60
Поглотительная способность [см ³ /г]/[мг/г] по:		
С ₆ Н ₆	0,31	0,32
Н ₂ О	0,33	0,37
ССl ₄	0,063	0,138
I ₂ , мг/г	609,6	622,3
МГ, мг/г	261,13	282,03
V _{ΣH₂O}	0,35	0,36
Выход, % от сырья	15,8	15,3

Таблица П.4.1.(III) Технические характеристики продуктов активации карбонизата СКО при скорости его нагрева 15 °С/мин. до различных температур, удельном расходе водяного пара 3 кг на 1 кг целевого продукта и времени выдержки при конечной температуре 60 мин.

Конечной температуры, °С	V _Σ , см ³ /Г	Vs _{H₂O} , см ³ /Г	Vs _{CCl₄} , см ³ /Г	Vs _{C₆H₆} , см ³ /Г	I ₂ , мг/Г	МГ, мг/Г	Выход, % от сырья
800	0,355	0,360	0,120	0,300	620,0	272,0	16,75
850	0,380	0,365	0,140	0,305	623,0	280,0	15,27
900	0,365	0,358	0,136	0,320	625,5	286,0	13,72

Таблица П.4.1.(IV) Технические характеристики продуктов активации карбонизата СКО при его нагревании с различной интенсивностью до 850 °С, удельном расходе водяного пара 3 кг на 1 кг целевого продукта и времени выдержки при этой температуре 30 мин.

Интенсивности Нагрева, °С/мин	V _Σ , см ³ /Г	Vs _{H₂O} , см ³ /Г	Vs _{CCl₄} , см ³ /Г	Vs _{C₆H₆} , см ³ /Г	I ₂ , мг/Г	МГ, мг/Г	Выход от сырья, %
10	0,365	0,348	0,128	0,286	620,5	208,0	15,44
15	0,380	0,360	0,142	0,310	621,5	248,5	15,20
20	0,375	0,363	0,140	0,310	621,0	240,0	14,75

Таким образом, исходя из данных табл. П.4.1. (I, II, III и IV), в качестве рациональных условий активации карбонизата СКО водяным паром следует констатировать интенсивность нагревания 15 °С/мин., удельный расход водяного пара 3 кг на 1 кг получаемого активного угля, конечную температуру процесса 850 °С и время выдерживания обрабатываемого материала при этой температуре 60 мин.

П.4.2. Обоснование рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из скорлупы косточек сливы (СКС) водяным паром

Таблица П.4.2.(I) Влияние удельного расхода водяного пара на технические характеристики активного угля (интенсивность нагревания 15°C/мин, конечная температура 750°C)

Показатель	Расход водяного пара, кг на 1 кг целевого продукта:			
	5	10	15	20
Поглотительная способность [см ³ /г]/[мг/г] по:				
С ₆ H ₆	0,13	0,18	0,29	0,18
H ₂ O	0,13	0,10	0,14	0,05
CCl ₄	0,03	0,04	0,02	0,02
V _{ΣH₂O}	0,64	0,68	0,64	0,69
I ₂ , мг/г	431,8	546,2	482,6	558,8
МГ, мг/г	2,11	1,83	2,72	3,00
Выход, % от карбонизата	80	80	80	80

Таблица П.4.2.(II) Влияние конечной температуры активации на технические характеристики активного угля (интенсивность нагревания 15 °С/мин)

Конечные температуры, °С	V _Σ , см ³ /г	Vs H ₂ O, см ³ /г	Vs CCl ₄ , см ³ /г	Vs C ₆ H ₆ , см ³ /г	I ₂ , мг/г	МГ, мг/г	Выход, % от карбонизата
750	0,64	0,14	0,02	0,28	482,6	2,7	80
800	0,64	0,16	0,03	0,23	571,5	29,0	79
850	0,70	0,16	0,04	0,24	698,5	39,0	78
900	0,81	0,15	0,03	0,26	787,4	43,5	75

Таблица П.4.2.(II) Влияние длительности изотермической выдержки активации на технические характеристики целевого карбонизата СКС (удельный расход пара 15 г/г)

Длительность, мин.	V_{Σ} , см ³ /г	$V_{S\ H_2O}$, см ³ /г	$V_{S\ CCl_4}$, см ³ /г	$V_{S\ C_6H_6}$, см ³ /г	I_2 , мг/г	МГ, мг/г	Выход, % от карбонизата
0	0,79	0,16	0,04	0,24	698,6	39,0	80
30	0,92	0,19	0,34	0,27	774,5	152,0	70
60	1,08	0,08	0,35	0,29	939,5	204,0	61

Таблица П.4.2.(IV) Влияние интенсивности нагревания карбонизата СКС на технические характеристики активного угля

Интенсивности Нагрева, °С/мин	V_{Σ} , см ³ /г	$V_{S\ H_2O}$, см ³ /г	$V_{S\ CCl_4}$, см ³ /г	$V_{S\ C_6H_6}$, см ³ /г	I_2 , мг/г	МГ, мг/г	Выход от карбонизата, %
10	1,1	0,15	0,18	0,23	683,3	365	78
15	0,8	0,20	0,27	0,26	775,5	355	75
20	0,9	0,12	0,33	0,31	902,0	370	60

Таким образом, совокупность изученных зависимостей позволяет заключить, что рациональными условиями активации карбонизата фрагментов скорлупы косточек сливы можно считать удельный расход водяного пара 15 г/г, интенсивность нагревания 15 °С /мин до 850 °С и длительности изотермической выдержки при этой температуре 60 мин.

П.4.3. Обоснование рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из оболочек семян манго (ОСМ) водяным паром

Таблица П.4.3.(I) Технические характеристики продуктов активации карбонизата оболочек семян манго (ОСМ) при его нагревании с интенсивностью 15 °С /мин до 800 °С и различными удельными расходами водяного пара

Показатель	Расход водяного пара, кг на 1 кг целевого продукта:			
	5	7	10	15
Поглотительная способность [см ³ /г]/[мг/г] по:				
С ₆ Н ₆	0,21	0,17	0,17	0,19
Н ₂ О	0,08	0,14	0,18	0,04
ССl ₄	0,11	0,07	0,04	0,12
V _{ΣH₂O}	1,23	1,40	1,03	1,22
I ₂ , мг/г	763,8	790,20	770,10	750,10
МГ, мг/г	17,16	24,50	6,91	10,3
Выход, % от карбонизата	82,7	80,6	87,2	92,3

Таблица П.4.3.(II) Технические показатели продуктов активации карбонизата оболочек семян манго (ОСМ) (удельный расход водяного пара 5 кг/кг, интенсивность нагревания 15 °С /мин, предельная температура 800 °С)

Длительность, мин.	V _Σ , см ³ /г	Vs _{H₂O} , см ³ /г	Vs _{CCl₄} , см ³ /г	Vs _{C₆H₆} , см ³ /г	I ₂ , мг/г	МГ, мг/г	Выход, % от карбонизата
0	0,75	0,10	0,17	0,24	622,6	24,0	80
30	1,40	0,08	0,05	0,19	542,5	10,0	60
60	1,15	0,16	0,14	0,25	770,5	75,0	60
90	1,30	0,15	0,33	0,31	1048,0	110,0	50
120	1,60	0,06	0,15	0,25	690,0	70,0	40

Таблица П.4.3.(III) Технические характеристики продуктов активации карбонизата оболочек семян манго (ОСМ) при интенсивности нагрева 15 °С/мин с удельным расходом водяного пара 5 кг на 1 кг целевого продукта и длительности выдержки при конечной температуре 90 мин

Конечные температуры, °С	V _Σ , см ³ /г	Vs _{H₂O} , см ³ /г	Vs _{CCl₄} , см ³ /г	Vs _{C₆H₆} , см ³ /г	I ₂ , мг/г	МГ, мг/г	Выход, % от карбонизата
750	1,12	0,20	0,20	0,22	752,6	24,7	75
800	1,25	0,16	0,31	0,31	1058,5	108,0	41
850	1,36	0,25	0,23	0,31	826,5	105,0	38
900	1,34	0,20	0,10	0,24	1143,0	114,3	27

Таблица П.4.3.(IV) Технические показатели продуктов активации карбонизата оболочек семян манго (ОСМ) при его нагревании до 800 °С с удельным расходом водяного пара 5 кг на 1 кг целевого продукта и изотермической выдержкой 90 мин.

Интенсивности Нагрева, °С/мин	V _Σ , см ³ /г	Vs _{H₂O} , см ³ /г	Vs _{CCl₄} , см ³ /г	Vs _{C₆H₆} , см ³ /г	I ₂ , мг/г	МГ, мг/г	Выход от карбонизата, %
10	1,21	0,25	0,23	0,26	665,8	48,01	50
15	1,25	0,20	0,31	0,31	1058,5	108,67	50
20	1,15	0,11	0,20	0,24	815,0	78,20	41

Совокупность же данных табл. П.3.3. (а,б, в и г) приводит к заключению, что оптимальные условия процесса активации карбонизата оболочек семян манго выражают следующие величины управляющих им параметров: интенсивность нагрева 15 °С /мин, удельный расход водяного пара 5 кг/кг, температура 800 °С и экспозиция изотермической выдержки 90 мин.

П.4.4. Обоснование рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из кожуры плодов тама­ринда (КПТ) водяным паром

Таблица П.4.4.(I) Технические характеристики продуктов активации карбонизата кожуры плодов тама­ринда (КПТ) при его нагревании с интенсивностью 15 °С /мин до 800 °С и различными удельными расходами водяного пара

Расход пара, г/г	I (мг/г)	МГ (мг/г)	VΣ (см³/г)	Vs (см³/г)			Выход от карбонизата (%)
				C ₆ H ₆	CCl ₄	H ₂ O	
5	558,80	340,74	1,10	0,26	0,238	0,284	36,80
10	450,00	332,00	1,0	0,131	0,20	0,202	46,90
15	431,80	313,30	1,0	0,167	0,094	0,189	49,05

Таблица П.4.4.(II) Технические показатели продуктов активации карбонизата кожуры плодов тама­ринда (КПТ) (удельный расход водяного пара 5 г/г, интенсивность нагревания 10 °С /мин, предельная температура 900 °С)

Конечные температуры, °С,	I , мг/г	МГ, мг/г	VΣ , см³/г	Vs, см³/г			Выход от карбонизата (%)
				C ₆ H ₆	CCl ₄	H ₂ O	
350	410,50	351,353	0,80	0,044	0,014	0,08	69,37
450	420,10	331,897	0,91	0,040	0,010	0,11	67,45
700	711,2	365,841	0,90	0,118	0,023	0,17	65,64
800	596,59	279,813	0,90	0,20	0,086	0,30	30,25
900	-	-	-	0,09	-	0,45	1,13

Таблица П.4.4.(III) Технические показатели активации карбонизата кожуры плодов тама­ринда (КПТ) при разных интенсивности 5, 10, 15 °С/мин без изотермического под­держки и расход пара 5 г/г продукт с конечной температурой 750 °С.

Интенсивность, °С/мин	I , мг/г	МГ, мг/г	VΣ , см³/г	Vs, см³/г			Выход От карбонизата (%)
				C ₆ H ₆	CCl ₄	H ₂ O	
5	558,80	340,74	1,10	0,26	0,238	0,284	36,80
10	450,00	332,00	1,0	0,131	0,20	0,202	46,90
15	431,80	313,30	1,0	0,167	0,094	0,189	49,05

Таблица П.4.4.(IV) Технические показатели активации карбонизата кожуры плодов тама­ринда (КПТ) при разных термических выдержки 0, 30, 60 минуты, при температурах активации 750 °С с интенсивностью 5 °С/мин и расход пара 5 г/г продукт.

Длительность, мин.	I, мг/г	МГ, мг/г	VΣ, см³/г	Vs, см³/г			Выход от карбонизата, %
				C ₆ H ₆	CCl ₄	H ₂ O	
0	450,00	332,00	1,0	0,260	0,238	0,284	42,80
30	762,50	330,00	1,0	0,250	0,221	0,20	41,9
60	762,00	321,12	1,1	0,220	0,200	0,154	39,05

Таким образом, технические показатели изученных экспериментальных данных показывают, что рациональными условиями активации карбонизата кожуры плодов тама­ринда (КПТ) можно опер­д­е­л­и­т­ь удельный расход водяного пара 5 г/г, интенсивность нагревания 10 °С /мин до 750 °С и изотермической выдержки при этой температуре 30 мин.

П.4.5. Обоснование рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из рисового шелуха (РШ) водяным паром

Таблица П.4.5.(I) Технические характеристики продуктов активации карбонизата РШ при скорости его нагрева 15 °С/мин до различных температур и удельном расходе водяного пара 7 кг на 1 кг целевого продукта

Показатель и его размерность	V_{Σ} , см ³ /Г	V_s H ₂ O, см ³ /Г	V_s CCl ₄ , см ³ /Г	V_s C ₆ H ₆ , см ³ /Г	I_2 , мг/Г	МГ, мг/Г	Выход от карбонизата, %
Значение показателя при конечной температуре в °С:							
600	1,33	0,07	0,06	0,08	54,55	407	94,0
650	1,33	0,07	0,06	0,09	55,88	447	92,8
700	1,30	0,08	0,04	0,11	56,67	488	91,9
750	1,30	0,09	0,04	0,14	58,58	530	90,8
800	1,32	0,09	0,03	0,15	59,11	576	89,7

Таблица П.4.5.(II) Технические характеристики продуктов активации карбонизата РШ при его нагревании с различной интенсивностью до 750 °С, удельном расходе водяного пара 7 кг на 1 кг целевого продукта и изотермической выдержке 30 мин при конечной температуре

Показатель и его размерность	V_{Σ} , см ³ /Г	V_s H ₂ O, см ³ /Г	V_s CCl ₄ , см ³ /Г	V_s C ₆ H ₆ , см ³ /Г	I_2 , мг/Г	МГ, мг/Г	Выход от карбонизата, %
Значение показателя при скорости нагревания в °С/мин.:							
5	1,22	0,07	0,05	0,15	76,83	530	88,1
10	1,25	0,06	0,04	0,14	77,38	537	89,5
15	1,28	0,07	0,04	0,14	78,78	560	90,1
20	1,32	0,06	0,04	0,13	79,04	566	90,5

Таблица П.4.5.(III) Технические характеристики продуктов активации карбонизата РШ при его нагревании с интенсивностью 15 °С /мин. до 750 °С и различных удельных расходах водяного пара (в кг на 1 кг целевого продукта)

Показатель и его размерность	V_{Σ} , см ³ /Г	V_s H ₂ O, см ³ /Г	V_s CCl ₄ , см ³ /Г	V_s C ₆ H ₆ , см ³ /Г	J ₂ , мг/Г	МГ, мг/Г	Выход от карбонизата, %
Значение показателя при расходе водяного пара (кг/кг):							
3	1,24	0,08	0,06	0,12	72,7	396	88,9
5	1,26	0,12	0,07	0,13	76,8	503	90,4
7	1,27	0,12	0,07	0,13	77,1	522	91,0
10	1,27	0,11	0,08	0,13	77,3	539	92,0

Таблица П.4.5.(IV) Технические характеристики адсорбентов, полученных при активации карбонизата РШ в условиях его нагревания при удельном расходе водяного пара 7 кг/кг со скоростью 15 °С/мин до 750 °С и различной длительности обработки при этой температуре

Показатель и его размерность	V_{Σ} , см ³ /Г	V_s H ₂ O, см ³ /Г	V_s CCl ₄ , см ³ /Г	V_s C ₆ H ₆ , см ³ /Г	J ₂ , мг/Г	МГ, мг/Г	Выход от карбонизата, %
Значение показателя при длительности выдержки в мин:							
15	1,26	0,13	0,08	0,13	77,0	497	92,9
30	1,27	0,13	0,08	0,13	77,2	531	91,2
60	1,27	0,12	0,08	0,12	77,4	566	89,4
90	1,28	0,12	0,07	0,12	77,6	603	87,6
120	1,29	0,11	0,07	0,12	77,9	642	86,0
150	1,30	0,10	0,07	0,11	78,1	674	84,3

В целом совокупность данных, иллюстрируемых табл. П-3.5. (а, б, в и г), свидетельствует о предпочтительности активации карбонизата РШ путем его нагрева

с интенсивностью 15°C/мин до температуры 750°C и непрерывной обработки водяным паром (с удельным расходом этого активатора ~7 г на 1 г целевого продукта) и последующей выдержки при названной температуре в течение 30 мин.

П.4.6. Установление рациональных условий процесса активации карбонизата полученных из железного дерева (ЖД) водяным паром

Таблица П.4.6.(I) Технические параметры активного угля, полученного с интенсивностью нагревания (ЖД) 15°C/мин до 800°C с различным удельным расходом водяного пара без выдержки при конечной температуре

Показатель	Удельный расход водяного пара, г/г					
	3	5	7	10	15	30
$V_{S\ H_2O}, \text{ см}^3/\text{г}$	0,15	0,18	0,14	0,09	0,08	0,06
$V_{S\ CCl_4}, \text{ см}^3/\text{г}$	0,11	0,12	0,10	0,09	0,09	0,08
$V_{S\ C_6H_6}, \text{ см}^3/\text{г}$	0,18	0,24	0,23	0,22	0,20	0,21
$V_{\Sigma H_2O}, \text{ см}^3/\text{г}$	0,74	0,86	0,84	0,85	0,84	0,85
F, мг/г	853	845	823	798	760	756
МГ, мг/г	10,4	11,1	9,8	7,4	6,5	6,1
Выход от карбонизата, %	74,9	74,9	75,0	75,6	75,9	76,2

Таблица П.4.6.(II) Технические параметры активного угля, полученного нагреванием карбонизата (ЖД) с интенсивностью 15 °C/мин до 800 °C с различной длительностью изотермической выдержки при удельном расходе водяного пара 5 г/г

Показатель	Длительность изотермической выдержки, мин				
	15	30	60	90	120
$V_{S\ H_2O}, \text{ см}^3/\text{г}$	0,16	0,12	0,08	0,09	0,16
$V_{S\ CCl_4}, \text{ см}^3/\text{г}$	0,23	0,32	0,33	0,39	0,58
$V_{S\ C_6H_6}, \text{ см}^3/\text{г}$	0,36	0,34	0,34	0,36	0,58
$V_{\Sigma H_2O}, \text{ см}^3/\text{г}$	0,90	1,20	1,25	1,31	1,54
F, мг/г	910	840	840	801	1143
МГ, мг/г	54,3	80,6	56,1	68,9	122,0
Выход от карбонизата, %	65,8	63,7	62,8	52,9	47,0

Таблица П.4.6.(III) Технические показатели активных углей, полученных активацией карбонизата железного дерева (ЖД) водяным паром с удельным расходом 5 г на 1 г целевого продукта при скорости нагревания 15 °С/мин до различных конечных температур и длительности изотермической выдержки 60 мин.

Показатель	Конечная температура, °С	
	800	850
$V_{\text{SH}_2\text{O}}$, см ³ /г	0,08	0,15
V_{SCCl_4} , см ³ /г	0,33	0,81
$V_{\text{SC}_6\text{H}_6}$, см ³ /г	0,34	0,80
$V_{\Sigma\text{H}_2\text{O}}$, см ³ /г	1,25	1,62
F, мг/г	840	1219
МГ, мг/г	56,1	148,0
Выход от карбонизата, %	62,8	34,0

Таблица П.4.6.(IV) Технические показатели активных углей, полученных активацией карбонизата железного дерева с различной интенсивностью нагревания до 850 оС при удельном расходе водяного пара 5 г/г и длительности изотермической выдержки 60 мин

Показатель	Интенсивность нагревания, °С/мин			
	5	10	15	20
$V_{\text{S H}_2\text{O}}$, см ³ /г	0,07	0,13	0,15	0,06
$V_{\text{S CCl}_4}$, см ³ /г	0,55	0,67	0,81	0,40
$V_{\text{S C}_6\text{H}_6}$, см ³ /г	0,61	0,78	0,80	0,35
$V_{\Sigma\text{H}_2\text{O}}$, см ³ /г	1,8	1,57	1,62	1,2
F, мг/г	892	981	1219	1029
МГ, мг/г	144,5	198,0	148,0	134,4
Выход от карбонизата, %	41,6	39,4	34,0	44,0

Так как, оптимальными условиями процесса активации водяным паром карбонизата, полученного из древесины железного дерева, следует считать

интенсивность нагревания 10 °С/мин, удельный расход водяного пара 5 г/г, конечную температуру 850 °С и длительность изотермической выдержки при ней 60 мин.

П.4.7. Исследование рациональных условий активации карбонизата гуза-паи (ГП) водяным паром

Таблица П.4.7.(I) Влияние конечной температуры активации карбонизата водяным паром на технические характеристики активного угля (интенсивность нагревания 5 °С /мин, изотермическая выдержка 45 мин)

Предельная температура, °С	V _Σ , см ³ /г	V _s , см ³ /г			МГ, мг/г	I ₂ , мг/г	Выход от карбонизата, %
		H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆			
750	1,50	0,17	0,21	0,23	95,79	44,45	65
800	1,79	0,23	0,26	0,26	203,56	34,29	75
850	1,31	0,18	0,11	0,20	143,69	44,45	60
900	-	-	-	-	-	-	0

Таблица П.4.7.(II) Влияние интенсивность нагревания карбонизата при его активации водяным паром с удельным расходом 15 г/г на технические характеристики активного угля (предельная температура 800 °С, без изотермической выдержки)

Скорость нагревания, °С/мин	V _Σ , см ³ /г	V _s , см ³ /г			МГ, мг/г	I ₂ , мг/г	Выход от карбонизата, %
		H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆			
5	1,87	0,25	0,33	0,29	31,75	44,45	55
10	1,97	0,20	0,14	0,24	38,10	63,5	37

Таблица П.4.7.(III) Влияние удельного расхода водяного пара на выход и технические характеристики активного угля (интенсивность нагревания 10 °С/мин, конечная температура 800 °С, без изотермической выдержки)

Удельный расход водяного пара, г/г	V _Σ , см ³ /г	V _s , см ³ /г			МГ, мг/г	I ₂ , мг/г	Выход от карбонизата, %
		H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆			
10	1,78	0,10	0,07	0,15	47,90	63,50	43
15	2,03	0,14	0,15	0,24	59,88	69,85	52,5

20	1,84	0,13	0,06	0,18	35,92	38,10	64
----	------	------	------	------	-------	-------	----

Таблица П.3.7.(IV) Влияние длительности изотермической выдержки на технические характеристики активных углей (интенсивность нагревания 5 °С/мин, предельная температура 800 °С, удельный расход водяного пара 15 г/г)

Длительность выдержки, мин	V _Σ , см ³ /г	V _s , см ³ /г			МГ, мг/г	I ₂ , мг/г	Выход от карбонизата, %
		H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆			
30	1,86	0,24	0,32	0,29	140,69	31,75	78,5
45	1,79	0,23	0,26	0,26	203,56	34,29	75,0
60	2,14	0,30	0,22	0,24	155,00	44,45	64,3

Таким образом, итогом рассмотрения ансамбля результатов, полученных при изучении процесса активации карбонизата гуза-паи (ГП) водяным паром, является заключение о целесообразности использования для его осуществления нагревания этого материала с интенсивностью 5 или 10 °С/мин при удельном расходе водяного пара 15 кг на 1 кг получаемого активного угля до 800 °С и длительность выдержки при этой температуре, составляющей 45 мин.

П.4.8. Исследование рациональных условий активации карбонизата букетов роз (БР) водяным паром

Таблица П.4.8.(I) Влияние конечной температуры активации карбонизата (БР) водяным паром 5 кг / 1 кг продукта на технические характеристики активного угля (интенсивность нагревания 5 °С /мин, изотермическая выдержка 45 мин)

Предельная температура, °С	V _Σ , см ³ /г	V _s , см ³ /г			МГ, мг/г	I ₂ , мг/г	Выход от карбонизата, %
		H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆			
350	0,50	0,15	0,21	0,28	195,79	144,45	65
400	0,89	0,14	0,26	0,25	233,56	234,29	56
450	0,87	0,17	0,31	0,34	243,69	284,45	43
500	-	-	-	-	-	-	0

Таблица П.4.8.(II) Влияние интенсивность нагревания карбонизата (БР) при его активации водяным паром с удельным расходом 5 кг/кг на технические характеристики активного угля (предельная температура 450 °С, без изотермической выдержки)

Скорость нагревания, °С/мин	V_{Σ} , см ³ /Г	V_s , см ³ /Г			МГ, мг/Г	I ₂ , мг/Г	Выход от карбонизата, %
		H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆			
5	0,97	0,20	0,14	0,24	318,10	163,5	53
10	1,13	0,17	0,35	0,38	325,00	245,00	49

Таблица П.4.8.(III) Влияние удельного расхода водяного пара на выход и технические характеристики активного угля (интенсивность нагревания 10 °С/мин, конечная температура 450 °С, без изотермической выдержки)

Удельный расход водяного пара, г/Г	V_{Σ} , см ³ /Г	V_s , см ³ /Г			МГ, мг/Г	I ₂ , мг/Г	Выход от карбонизата, %
		H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆			
5	0,88	0,15	0,27	0,25	247,90	163,50	53
10	1,13	0,17	0,35	0,38	325,00	245,00	49
15	-	0,01	0,02	0,01	-	-	5

Таблица П.4.8.(IV) Влияние длительности изотермической выдержки на технические характеристики активных углей (интенсивность нагревания 5 °С/мин, предельная температура 800 °С, удельный расход водяного пара 15 г/Г)

Длительность выдержки, мин	V_{Σ} , см ³ /Г	V_s , см ³ /Г			МГ, мг/Г	I ₂ , мг/Г	Выход от карбонизата, %
		H ₂ O	CCl ₄	C ₆ H ₆			
0	1,13	0,170	0,350	0,38	325,00	245,00	49
45	-	0,023	0,07	0,16	-	-	-
60	-	0,031	0,022	0,024	-	-	-

Таким образом, от полученных результатов, при изучении процесса активации карбонизата букетов роза (БР) водяным паром, является заключение о целесообразности использования для его осуществления нагревания этого материала

с интенсивностью 10 °С/мин при удельном расходе водяного пара 5 кг на 1 кг получаемого активного угля до 450 °С и без изотермической выдержки.

Приложение П.5. Данные по низкотемпературной адсорбции азота полученными углеродными адсорбентами

П.5.1. Изотермы низкотемпературной адсорбции азота карбонизированными продуктами пиролиза отходов

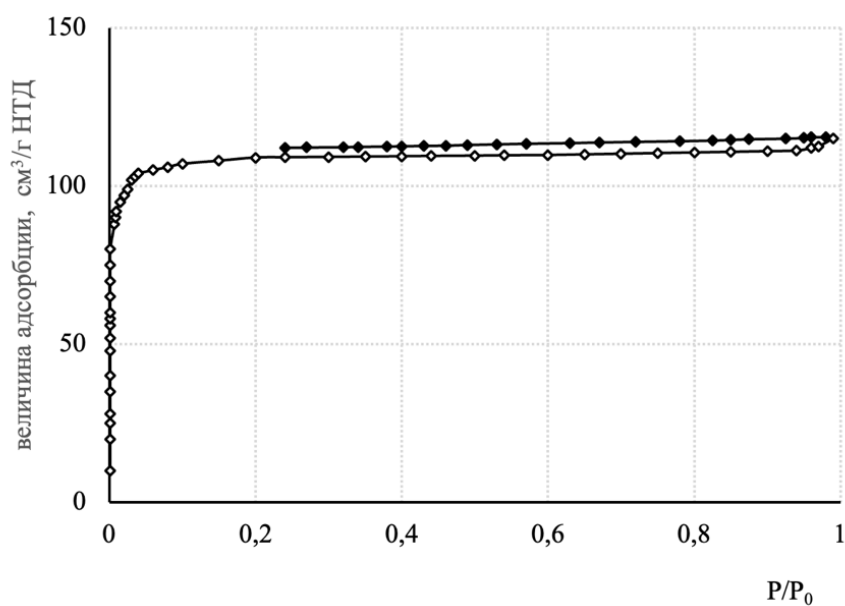


Рисунок П.5.1.(I) Равновесие адсорбции азота при 77 К карбонизатором СКО: (◇) – адсорбция, (◆) – десорбция

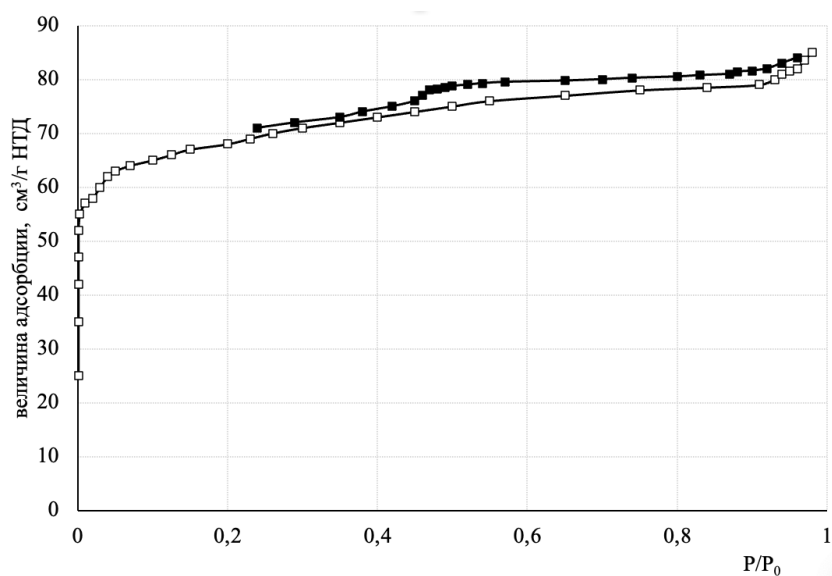


Рисунок П.5.1.(II) I Равновесие низкотемпературной адсорбции азота карбонизатом

РШ: (□) – адсорбция, (■) – десорбция

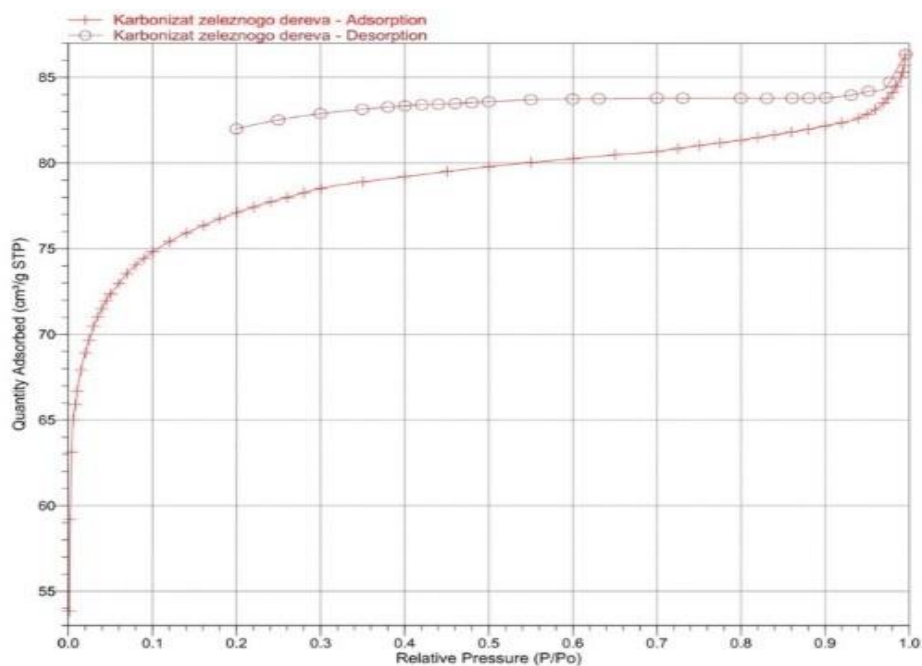


Рисунок П.5.1.(III) . Изотермы адсорбции и десорбции азота карбонизатом древесины ЖД

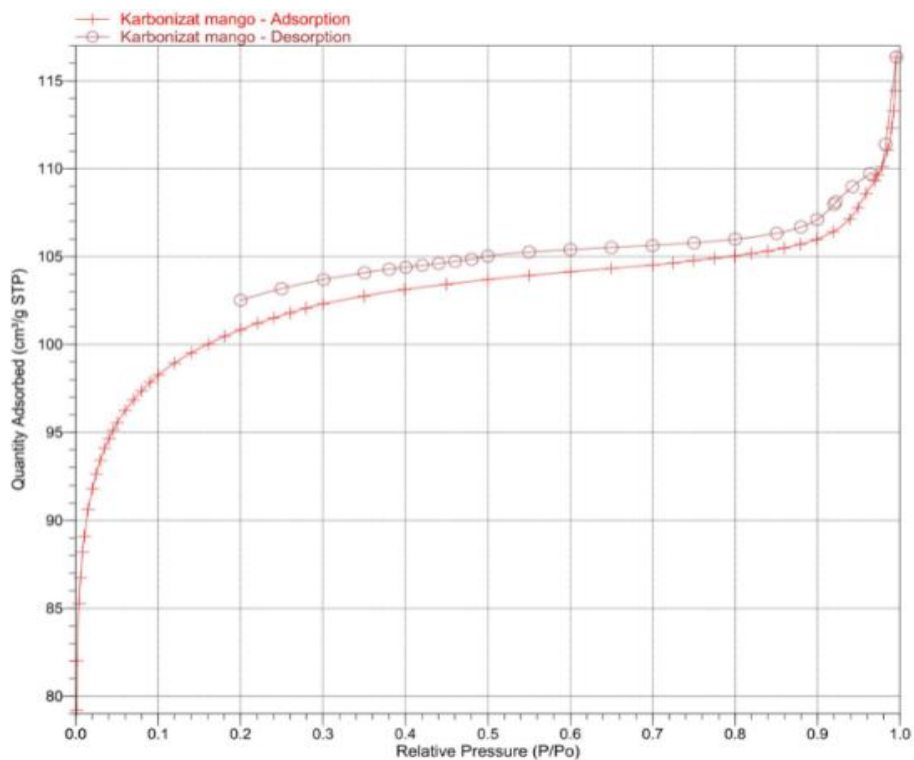


Рисунок П.5.1.(IV) Изотермы адсорбции - десорбции азота карбонизатом ОСМ

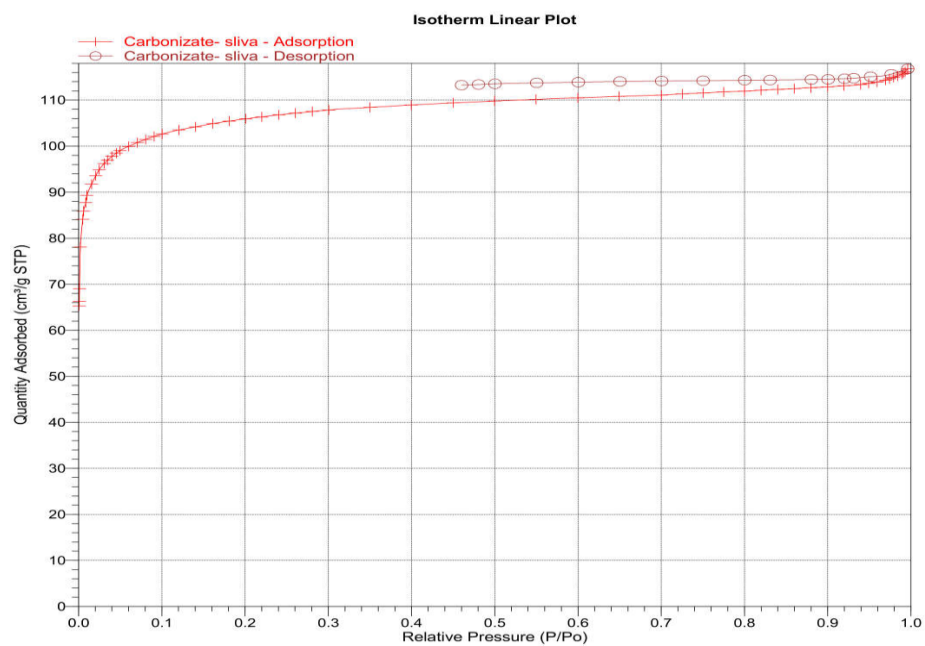


Рисунок П.5.1.(V) Изотермы адсорбции - десорбции азота карбонизатом СКС

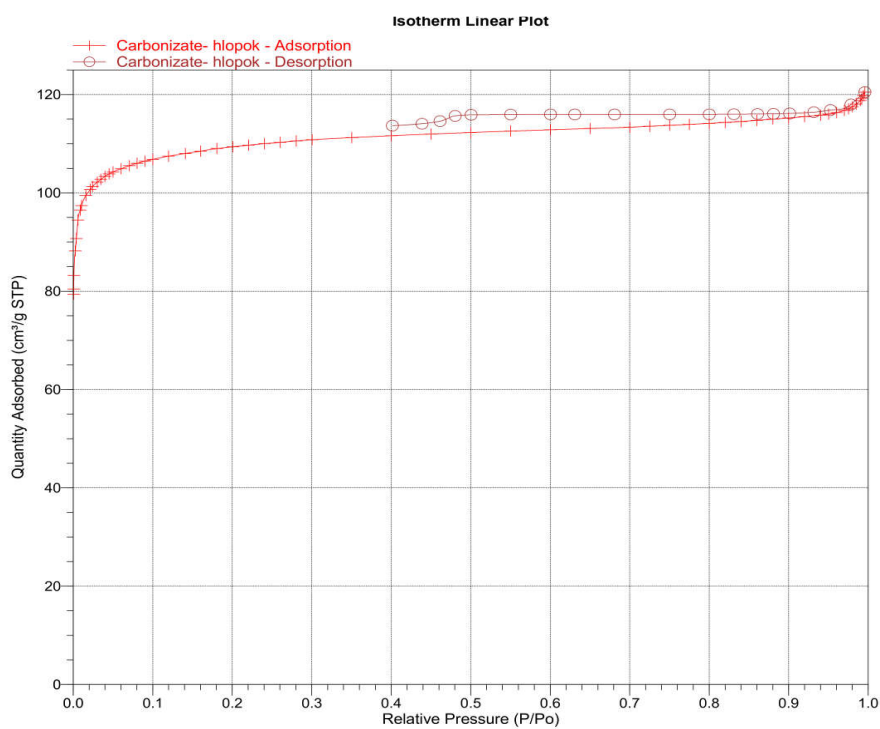


Рисунок П.5.1.(VI) Изотермы адсорбции - десорбции азота карбонизатом ГП

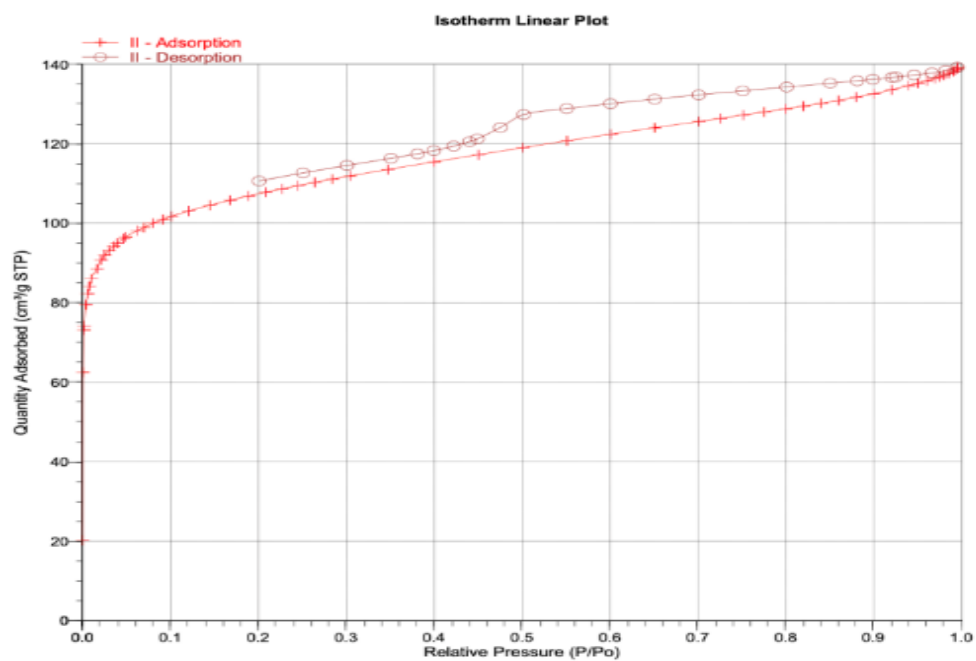


Рисунок П.5.1.(VII) Изотермы адсорбции - десорбции азота карбонизатом КПТ

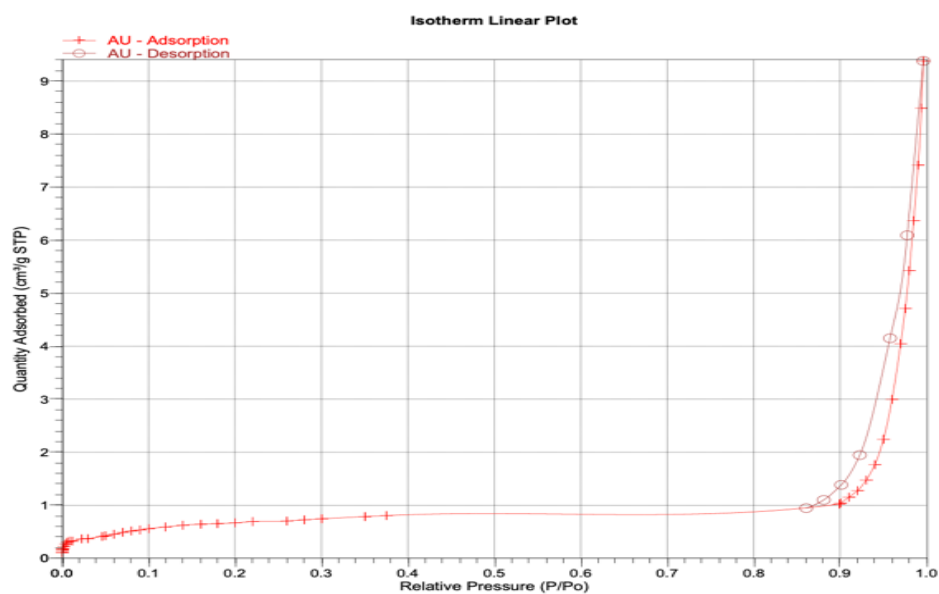


Рисунок П.5.1.(VIII) Изотермы адсорбции - десорбции азота карбонизатом БР

П.5.2. Характер распределения объемов пор карбонизатов по диаметрам

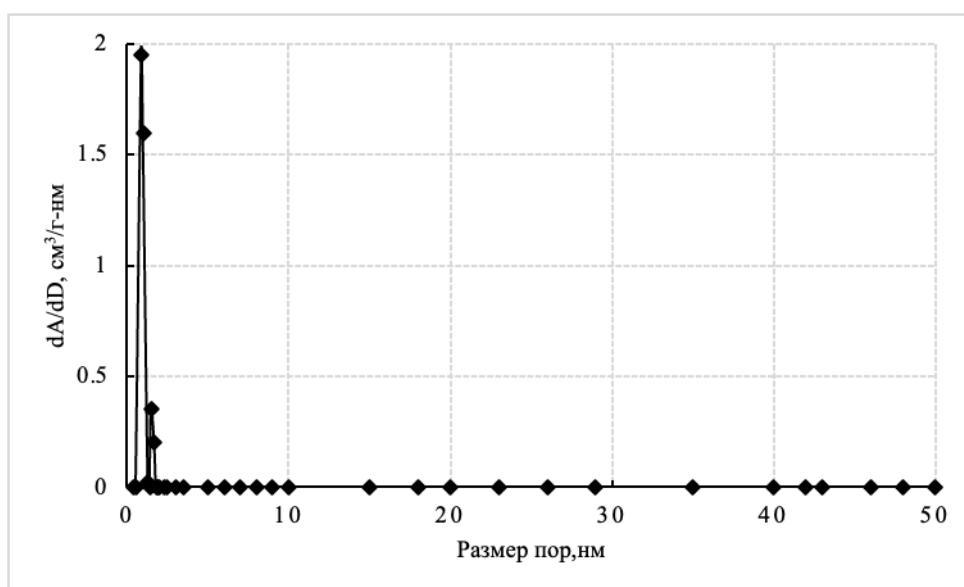


Рисунок П.5.2.(I) Распределение пор карбонизата СКО по диаметрам

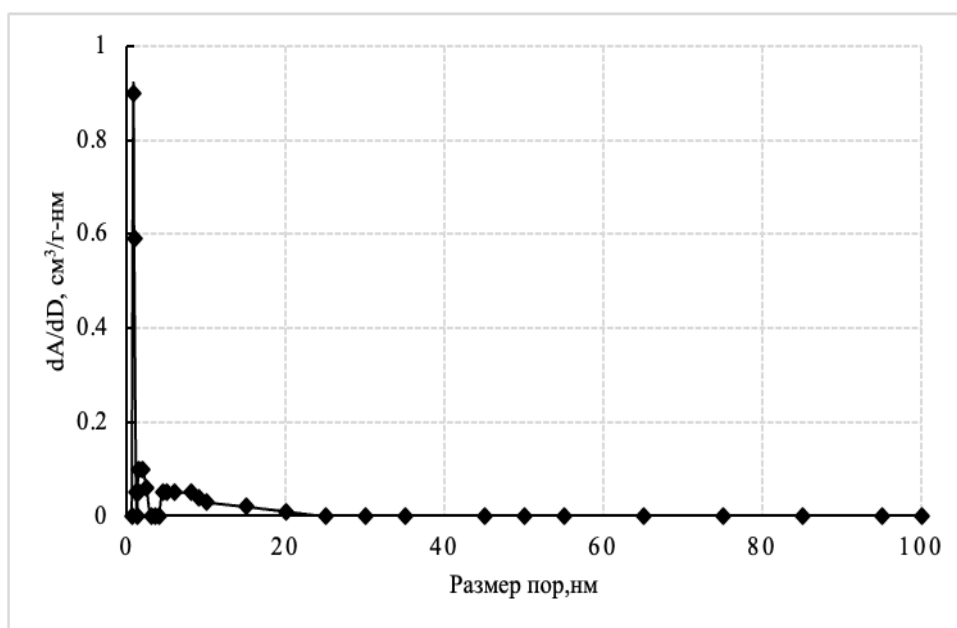


Рисунок П.5.2.(II) Распределение пор карбонизата РШ по диаметрам

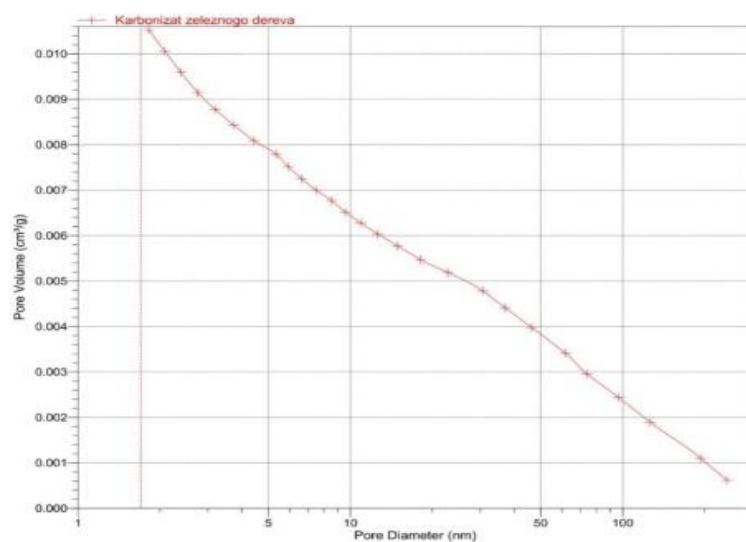


Рисунок П.5.2.(III) Распределение объёма пор карбонизата ЖД по диаметрам

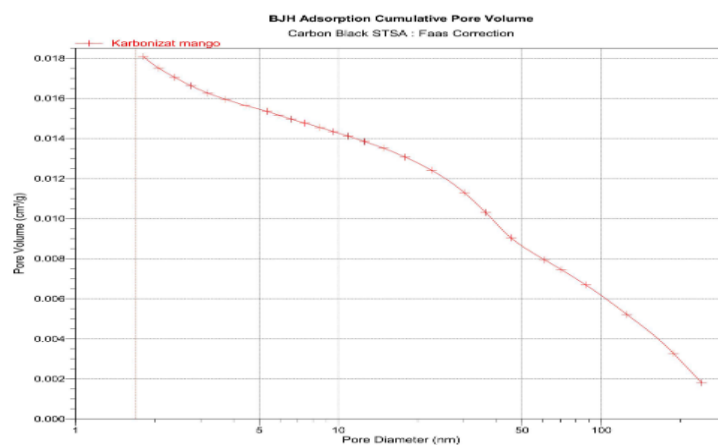


Рисунок П.5.2.(IV) Распределение объёма пор карбонизата ОСМ по диаметрам

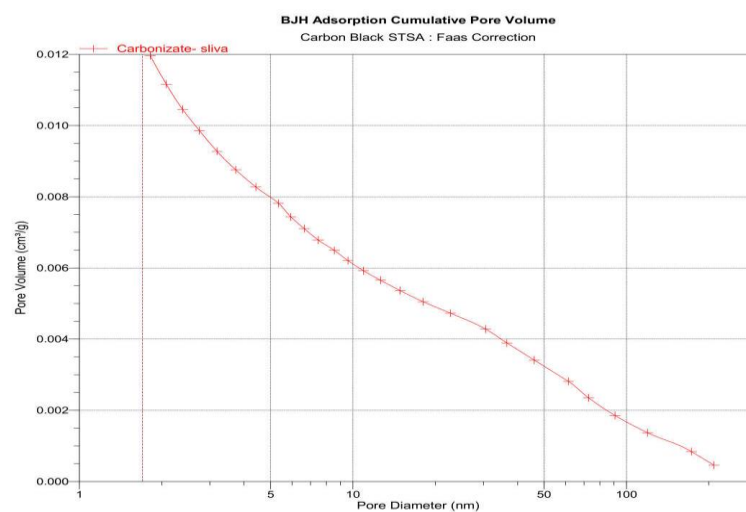


Рисунок П.5.2.(V) Распределение объёма пор карбонизата СКС по диаметрам

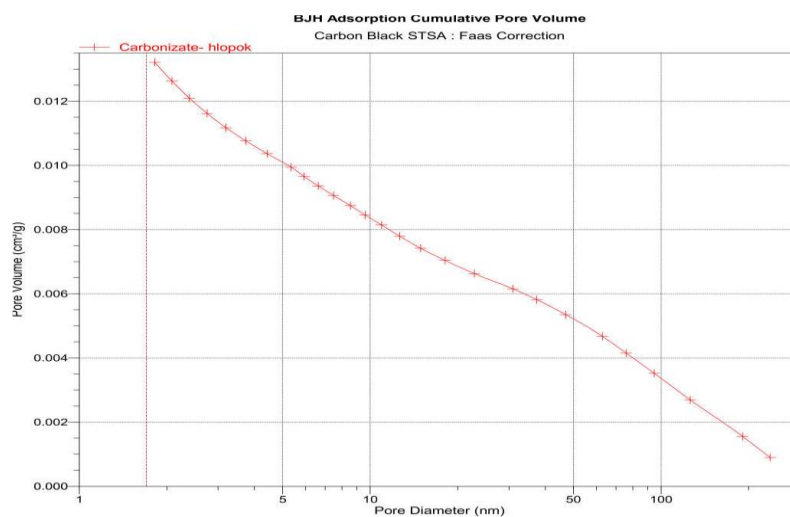


Рисунок П.5.2.(VI) Распределение объёма пор карбонизата ГП по диаметрам

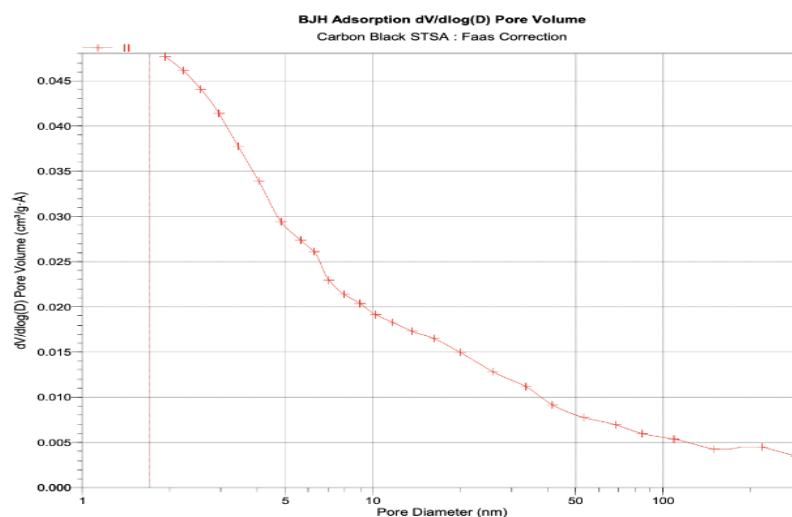


Рисунок П.5.2.(VII) Распределение объёма пор карбонизата КПТ по диаметрам

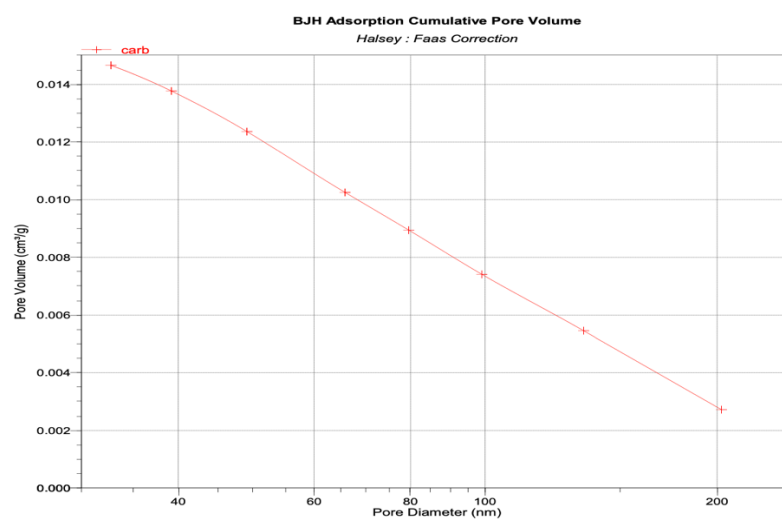


Рисунок П.5.2.(VIII) Распределение объёма пор карбонизата БР по диаметрам

П.5.3. Изотермы низкотемпературной адсорбции азота активными углями

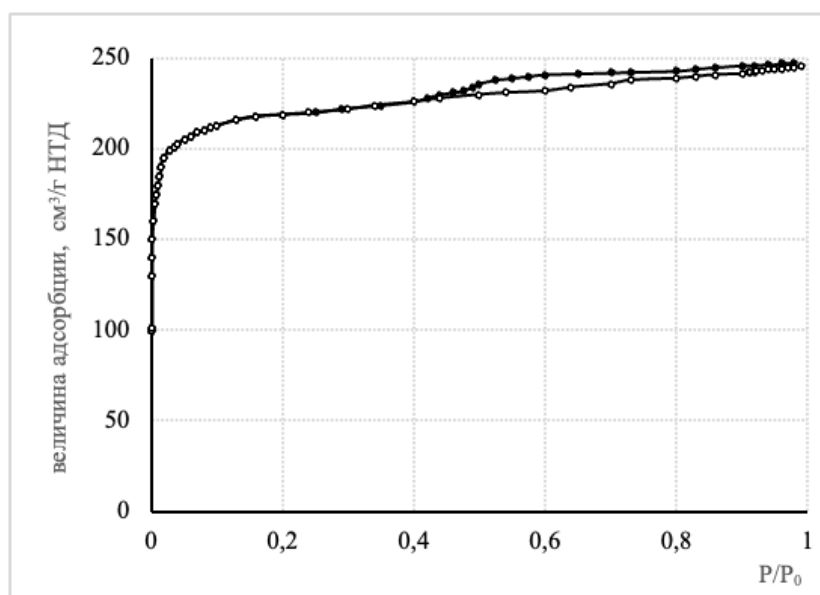


Рисунок П.5.3.(I) Равновесие адсорбции азота активным углем СКО: ($\diamond$) – адсорбция, ($\blacklozenge$) – десорбция

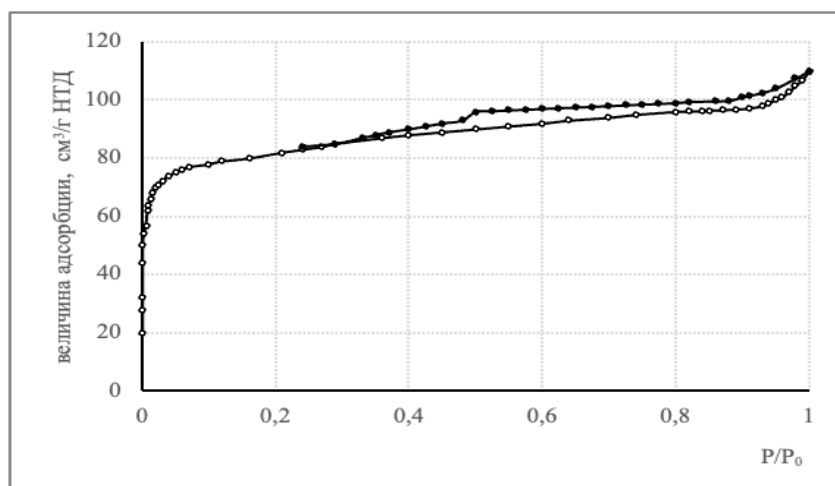


Рисунок П.5.3.(II) Равновесие низкотемпературной адсорбции азота активным углём РШ: ($\square$) – адсорбция, ($\blacksquare$) – десорбция

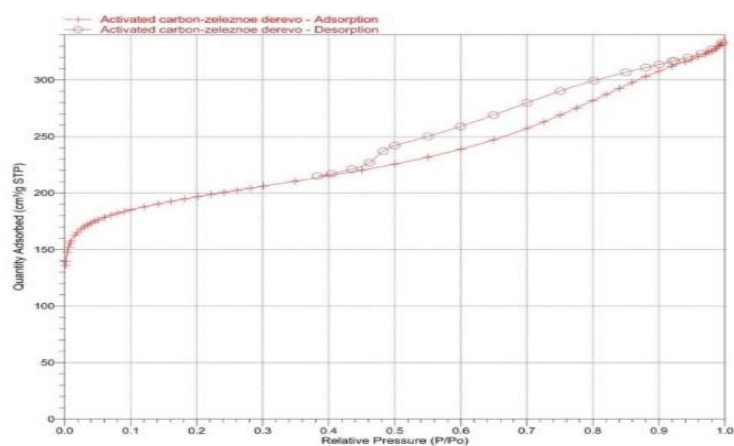


Рисунок П.5.3.(III) Изотермы адсорбции и десорбции азота активным углем на базе древесины ЖД

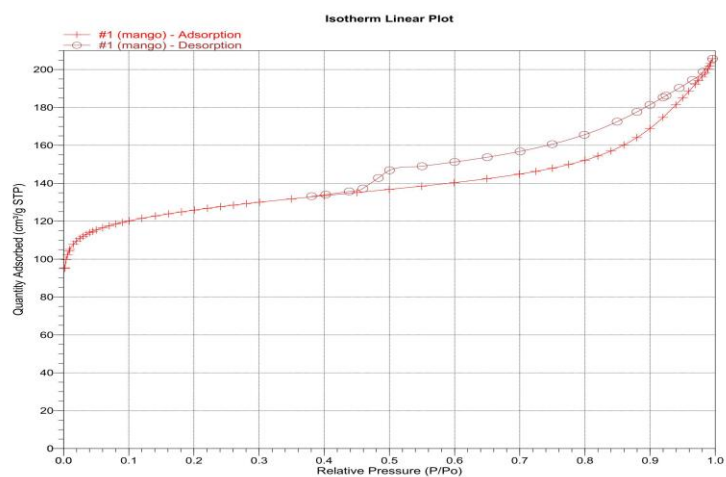


Рисунок П.5.3.(IV) Равновесное поглощение азота активным углём на базе ОСМ

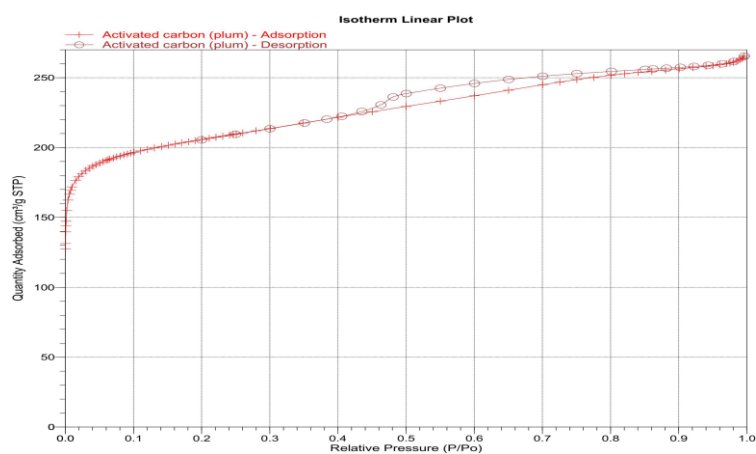


Рисунок П.5.3.(V) Изотермы низкотемпературной адсорбции-десорбции азота активным углём на базе СКС

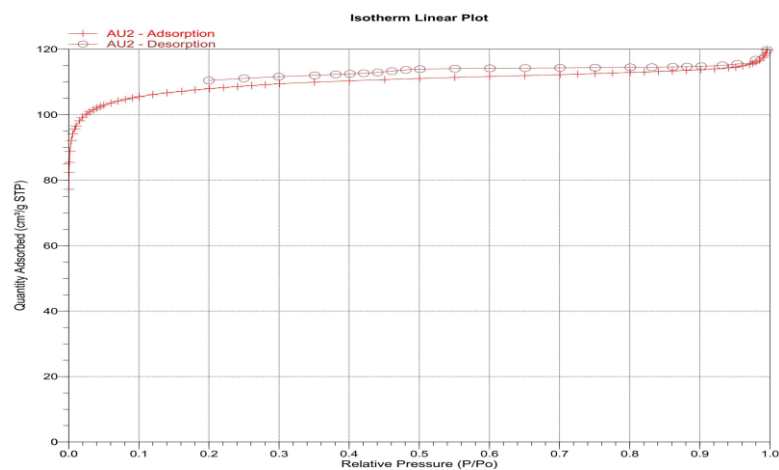


Рисунок П.5.3.(VI) Изотермы адсорбции-десорбции азота активным углём на базе
ГП

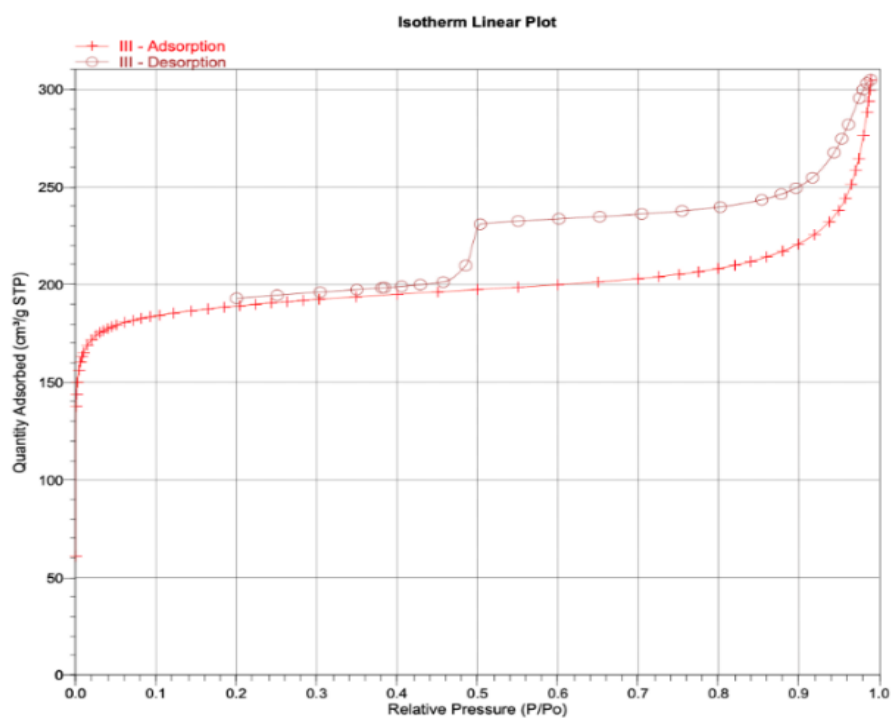


Рисунок П.5.3.(VII) Изотермы адсорбции-десорбции азота активным углём на базе
КПТ

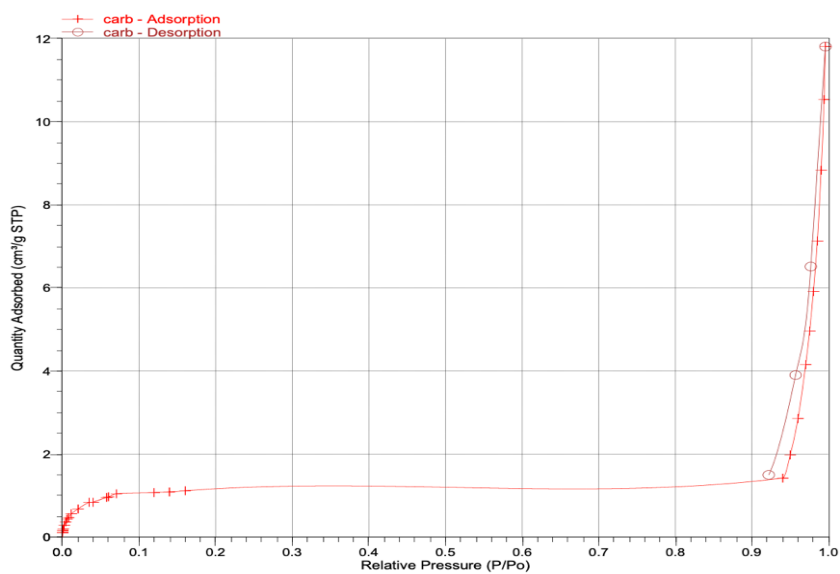


Рисунок П.5.3.(VIII) Изотермы адсорбции-десорбции азота активным углём на базе
БР

П.5.4. Распределение объёма пор активных углей по диаметрам

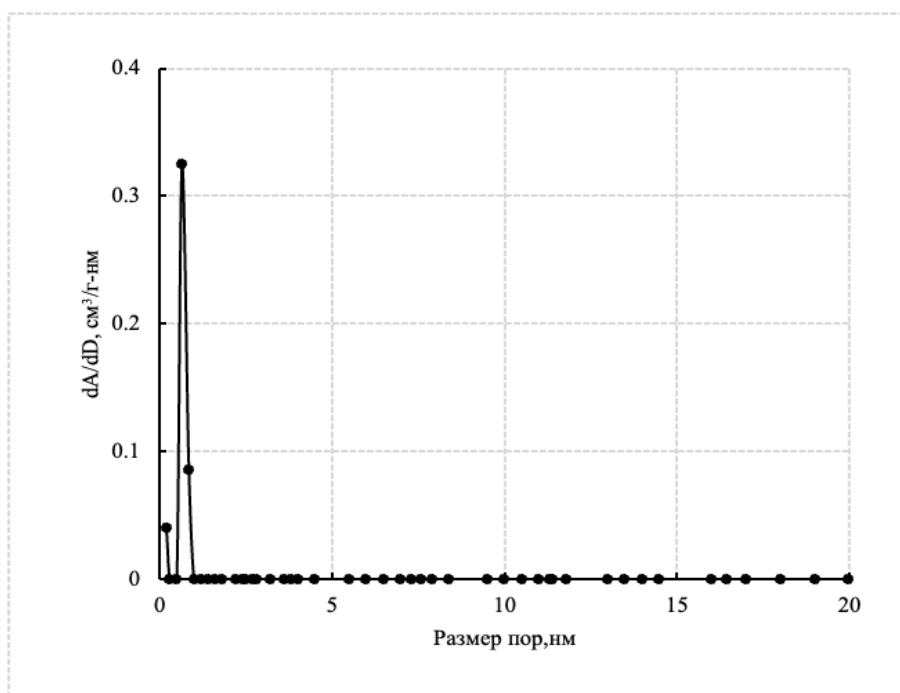


Рисунок П.5.4.(I) Распределение пор активного угля на базе СКО по диаметрам

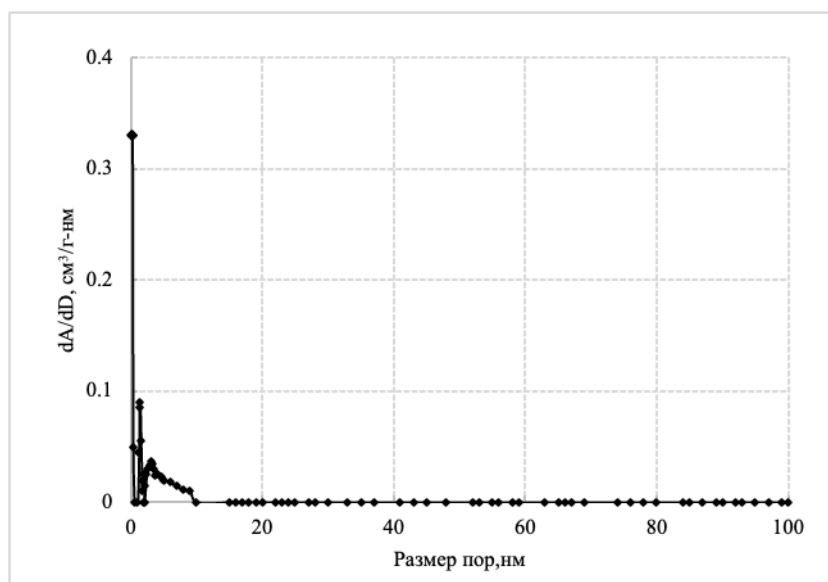


Рисунок П.5.4.(II) Распределение пор углерод минерального адсорбента на базе РШ по диаметрам

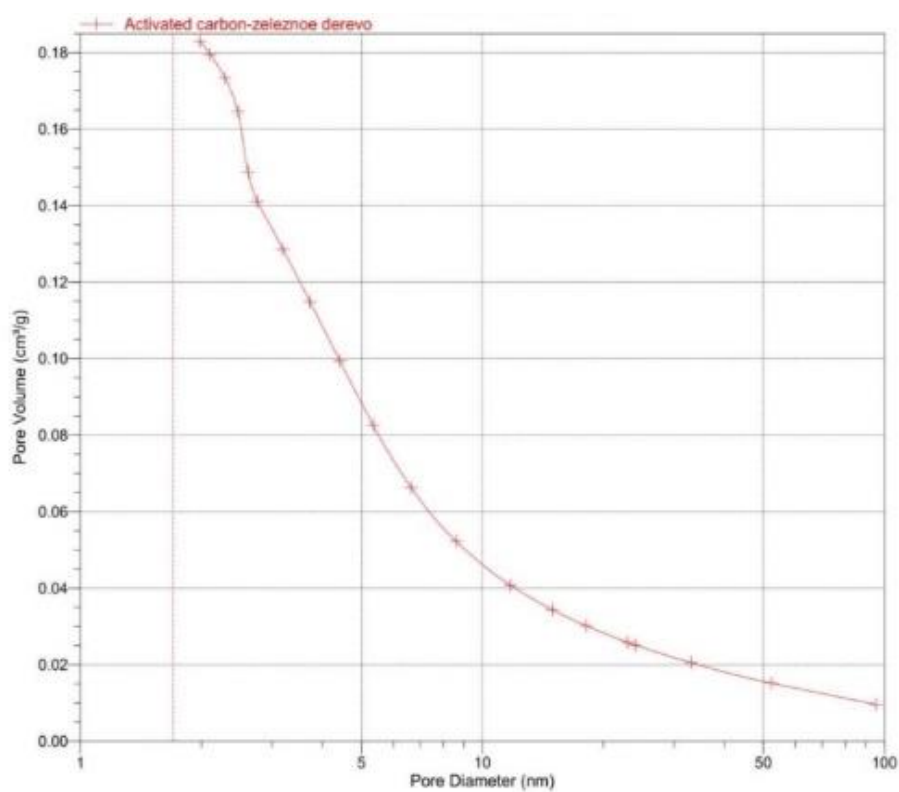


Рисунок П.5.4.(III) Распределение объёма пор активного угля на базе древесины ЖД по диаметрам

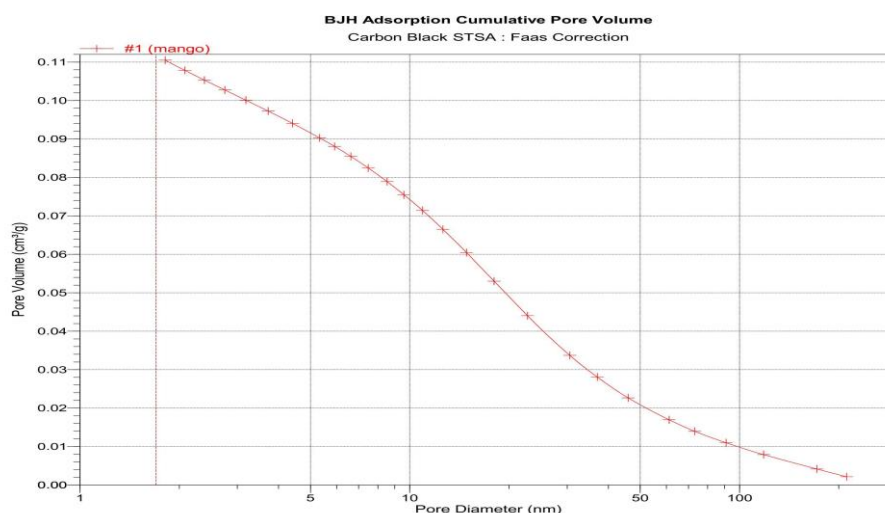


Рисунок П.5.4.(IV) Распределение объёма пор активного угля на базе ОСМ по диаметрам

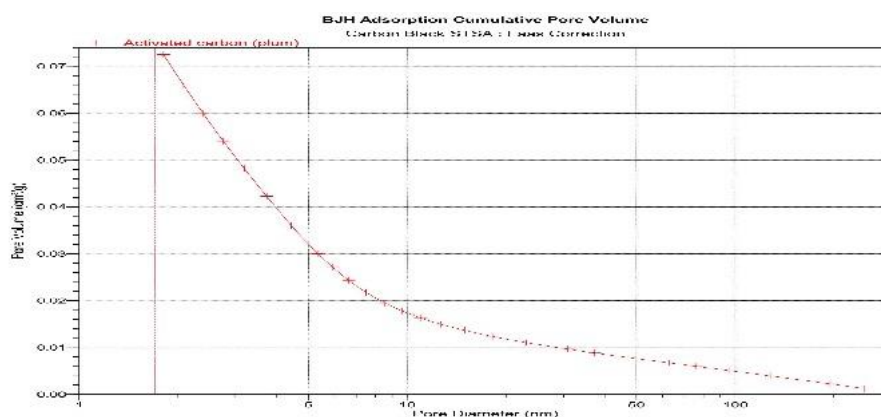


Рисунок П.5.4.(V) Распределение объёма пор активного угля на базе СКС по диаметрам

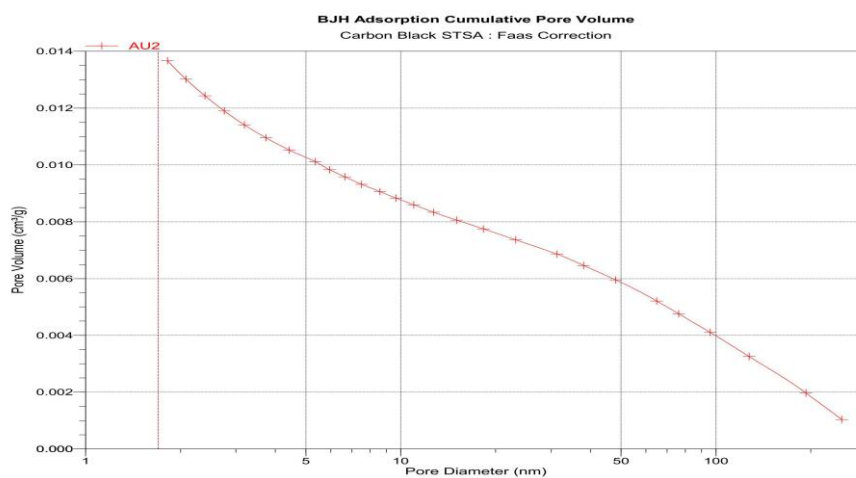


Рисунок П.5.4.(VI) Распределение объёма пор активного угля на базе ГП по диаметрам

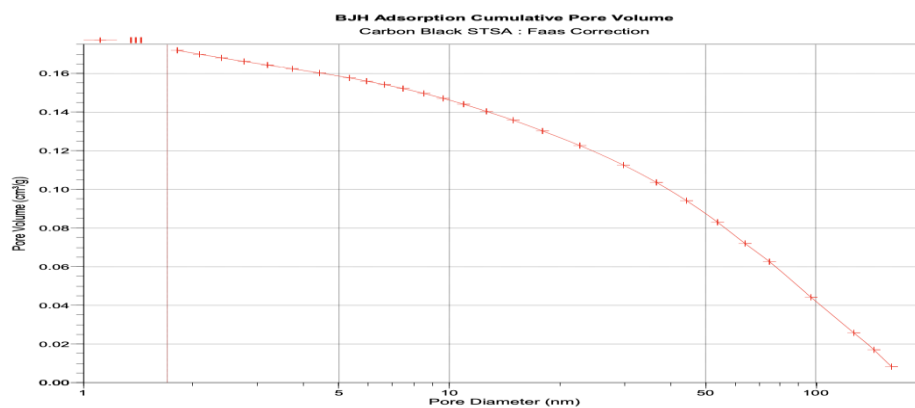


Рисунок П.5.4.(VII) Распределение объема пор активного угля на базе КПТ по диаметрам

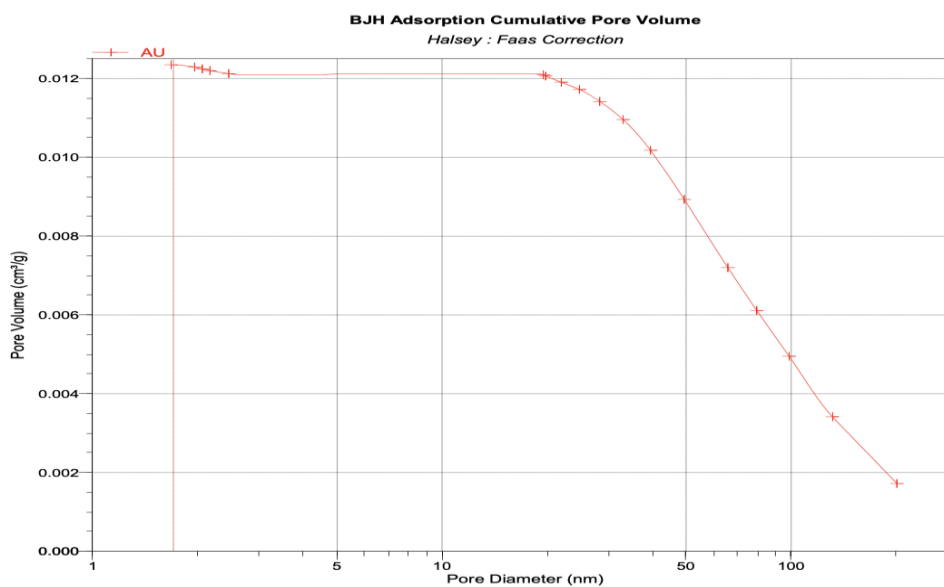


Рисунок П.5.4.(VIII) Распределение объёма пор активного угля на базе БР по диаметрам

Приложение П.6.

Таблица для построения рисунка 27

Сырья	% -ные составы неконденсирующихся газов и их происхождения T (C°) при пиролизе	Газ-носитель
СКО	350 °C: 0,015 % H ₂ + 48,2 % CH ₄ ; 450 °C: 0,02 % H ₂ + 30,16 % CH ₄ ; 550 °C: 0,8 % H ₂ + 63,48 % CH ₄	азот
РШ	400 °C: 48 % CH ₄ ; 500 °C: 49 % CH ₄ ; 600 °C: 47 % CH ₄ ; 700 °C: 39 % CH ₄	водород
ЖД	250°C: 0,003 % H ₂ ; 350 °C: 0,0015 % H ₂ + 0,42 % CO; 450 °C: 0,02 % H ₂ + 0,15 % CH ₄ ; 550 °C: 0,12 % H ₂ + 0,19 % CH ₄	азот
ОСМ	200°C: 1 % H ₂ ; 300 °C: 1,02 % H ₂ + 1 % CO; 350 °C: 1,3 % H ₂ + 1 % CO; 400 °C: 1,8 % H ₂ + 5,89 % CH ₄ ; 500 °C: 23,37 % H ₂ + 12,79 % CH ₄	азот
ГП	250°C: 0,12% H ₂ + 3,5 % CH ₄ ; 350 °C: 0,15 % H ₂ + 5,5 % CH ₄ ; 450 °C: 0,12% H ₂ + 10,5 % CH ₄ ; 550 °C: 0,11% H ₂ + 20,9 % CH ₄	азот
КПТ	250°C: 0,12% H ₂ + 3,5 % CH ₄ ; 350 °C: 0,15 % H ₂ + 5,5 % CH ₄ ; 450 °C: 0,12% H ₂ + 10,5 % CH ₄ ; 550 °C: 0,11% H ₂ + 20,9 % CH ₄	азот
СКС	350°C: 0,12% H ₂ ; 400 °C: 1,02 % H ₂ + 1 % CO; 450 °C: 0,15% H ₂ + 1 % CO; 500 °C: 0,02% H ₂ + 5,89 % CH ₄ ; 500 °C: 0,011 % H ₂ + 12,79 % CH ₄	азот
БР	200°C: 0,02% H ₂ + 20,1 % CH ₄ ; 300 °C: 0,13 % H ₂ + 16,5 % CH ₄ ; 350 °C: 0,05% H ₂ + 19,5 % CH ₄ ; 400 °C: 0,05% H ₂ + 20,9 % CH ₄	азот

Таблица для построения рисунка 33

Активный уголь на основе	Раствор	Показатель			
		Нормальность раствора		Величина COE, ммоль-экв/г	
		начального	конечного	анионо- обменная	катионо- обменная
СКО	NaOH	0,10	0,10	—	0
СКО	HCl	0,10	0,098	2,00	—
РШ	NaOH	0,10	0,10	—	0
РШ	HCl	0,10	0,085	1,50	—
ЖД	NaOH	0,10	0,10	-	0
ЖД	HCl	0,10	0,06	1,24	-
ОСМ	NaOH	0,10	0,10	-	0
ОСМ	HCl	0,09	0,074	1,58	-
СКС	NaOH	0,10	0,10	-	0
СКС	HCl	0,10	0,084	1,6	-
ГП	NaOH	0,10	0,10	-	0
ГП	HCl	0,10	0,065	3,5	-
КПТ	NaOH	0,10	0,10	-	0,20
КПТ	HCl	0,10	0,088	1,90	-

Приложение П.7.

Экспериментальные данные по кинетике трансформации показателей ООУ при
обработке стоков АО «Москокс» полученными активными углями паровой
активации

Адсорбент, его доза (г/дм ³) и фракция (в мм)	Остаточное содержание ООУ в воде при времени контакта фаз в мин.:										
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	50
СКО, 0,2 (0,5-1)	75	43	29,1	14,2	9,1	6	0	-	-	-	-
СКО, 0,3 (0,5-1)	75	46	4,3	1,2	0	-	-	-	-	-	-
РШ, 0,1 (0,5-1)	23	-	19,5	16,3	-	9,3	-	4,2	1,9	0,6	0
РШ, 0,2 (0,5-1)	23	-	19,0	15,1	-	8,2	-	2,9	1,4	0	-
РШ, 0,3 (0,5-1)	23	-	18,7	14,1	-	7,5	-	2,2	0,3	0	-
РШ, 0,1 (1-2)	42	-	36,8	30,4	-	17,3	-	5,7	1,6	0,1	0
РШ, 0,2 (1-2)	42	-	26,0	28,9	-	13,9	-	1,8	0,1	0	-
РШ, 0,3 (1-2)	42	-	35,5	9,9	-	6,1	-	0	-	-	-
РШ, 0,1 (2-3)	42	-	37,7	33,3	-	23,6	-	16,0	11,7	7,4	3,2
РШ, 0,2 (2-3)	42	-	37,4	32,3	-	23,0	-	12,7	9,1	4,4	1,2
РШ, 0,3 (2-3)	42	-	37,0	31,2	-	20,8	-	10,5	5,2	1,7	0,1
ЖД, 0,4 (0,2-0,5)	84	57	54,0	48,1	-	55,3	-	77,4	-	-	-
ОСМ, 0,3 (0,2-0,5)	90	58	40,1	38,1	36	41,2	-	47,3	-	-	-
ОСМ, 0,4 (0,2-0,5)	90	57	37,1	33,2	30	36,0	-	44,0	-	-	-
ОСМ, 0,5 (0,2-0,5)	90	56	35,2	28,5	25	32,0	-	41,1	-	-	-
СКС, 0,1 (0,2-0,5)	90	55	38,9	35,7	-	41,2	-	48,4	-	-	-
СКС, 0,2 (0,2-0,5)	90	54	33,2	30,0	-	36,2	-	43,3	-	-	-
СКС, 0,3 (0,2-0,5)	90	53	28,8	25,4	-	32,2	-	39,2	-	-	-
ГП, 0,1 (0,2-0,5)	85	56	47,2	38,3	-	40	-	48,2	-	-	-
ГП, 0,2 (0,2-0,5)	85	54	42,3	33,3	-	38	-	46,3	-	-	-
ГП, 0,3 (0,2-0,5)	85	53	39,1	29,2	-	34	-	44,4	-	-	-
КПТ, 0,1 (0,5-1)	75	33	16,5	8,1	3,8	1,0	0	-	-	-	-
КПТ, 0,3 (0,5-1)	75	24	10,0	4,7	1,1	0	-	-	-	-	-
КПТ, 0,1 (2-3)	75	36	22,5	10,9	6,3	3,1	1,2	0	-	-	-
КПТ, 0,3 (2-3)	75	50	27,5	13,8	7,6	4,5	2,5	0,8	0	-	-

Приложение П.8.

Планирование и обработка эксперимента по определению концентрации общего органического углерода при очистке стоков ОАО «Москокс»

Эффективность адсорбционной обработки сточных вод от растворенных органических примесей обычно зависит от размера частиц (зерен) поглотителя, дозы последнего и длительность контакта фаз при их интенсивном перемешивании. Совокупное влияние названных факторов с целью оптимизации их воздействия в характеризующей системе может быть оценено с привлечением методов математического планирования эксперимента [Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976–279 с.].

Способность полученного в работе углеродминерального адсорбента, полученного из РШ, к фиксации указанных примесей оценена с привлечением стока, охарактеризованного в разделе 4.1.1 текста работы (рисунок 26) и в таблице приложения П-3. Степень очистки контролировали, определяя содержание в воде общего органического углерода $C_{ооу}$.

Математическое планирование и обработка эксперимента предусматривали построение линейной модели, описывающей зависимость выходной переменной от ряда факторов, и обуславливали необходимость выполнения трехфакторного двухуровневого эксперимента [Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976 – 279 с.].

Факторы:

переменные – x_i

- фракция частиц адсорбента – 3-2, 2-1 и 1-0,5 мм с максимальным размером $d_{3, 2}$ и 1 мм соответственно;
- доза D частиц – 0,1, 0,2 и 0,3 г/л;
- время τ контакта фаз – 10-30 мин.;

Выходные переменные:

- концентрация общего органического углерода $C_{ООУ}$, мг/л.

Связь между исходными и кодированными переменными:

$$x_1 = (d - 2)/2;$$

$$x_2 = (D - 0,2)/0,2;$$

$$x_3 = (\tau - 20)/20;$$

$\bar{y} = (y' + y'' + y''')/3$ – среднее значение y по трём параллельным опытам;

$\hat{y}$ – расчётное значение y по уравнению математической модели.

Матрицу планирования характеризуют данные таблицы П-4.1.

Таблица П.8.1. Матрица планирования эксперимента по определению концентрации общего органического углерода

№ опыта	Факторы										
	натуральные			кодированные							
	d, мм	D, г/л	τ , мин	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_2x_3	x_1x_3	$x_1x_2x_3$
1	1	0,1	10	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	1	0,1	30	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
3	1	0,3	10	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1
4	1	0,3	30	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1
5	3	0,1	10	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	+1
6	3	0,1	30	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1
7	3	0,3	10	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
8	3	0,3	30	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
9*	2	0,2	20	+1	0	0	0	0	0	0	0

число опытов – $N=8$; * $n=3$ – число параллельных определений

Обработка результатов

1) Оценка дисперсии воспроизводимости (по опыту № 9 при $n=3$)

$$s_{\text{вос}}^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{(n - 1)}$$

$$s_{\text{roc}}^2 = 3$$

для у

Допускаем, что дисперсии в опытах 1–9 однородны.

2) Определение коэффициентов уравнения линейной регрессии

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji}\bar{y}_i}{N}$$

$$b_{uj} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ui}x_{ji}\bar{y}_i}{N}$$

Расчёты осуществлены с использованием данных таблицы П-7.2.

Таблица П.8.2. Расчётная матрица эксперимента по определению концентрации общего органического углерода

№ опыта	Факторы								Выходные переменные	
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_2x_3	x_1x_3	$x_1x_2x_3$	у	У _{расч}
1	+1	−1	−1	−1	+1	+1	+1	−1	19	19,04
2	+1	−1	−1	+1	−1	−1	+1	+1	15,57	15,72
3	+1	−1	+1	−1	−1	+1	−1	+1	13,95	13,86
4	+1	−1	+1	+1	+1	−1	−1	−1	3,8	3,92
5	+1	+1	−1	−1	+1	−1	−1	+1	19,12	19,22
6	+1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	−1	12,98	12,88
7	+1	+1	+1	−1	−1	−1	+1	−1	24	24,23
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	17	16,92
9	+1	0	0	0	0	0	0	0	38,35,38	15,7

для у₁

а) линейные эффекты

$$b_0 = (19+15,57+13,95+3,8+19,12+12,98+24+17)/8 = 15,7;$$

$$b_1 = (-19-15,57-13,95-3,8+19,12+12,98+24+17)/8 = 2,594;$$

$$b_2 = (-19-15,57+13,95+3,8-19,12-12,98+24+17)/8 = -0,99;$$

$$b_3 = (-19+15,57-13,95+3,8-19,12+12,98-24+17)/8 = -3,34;$$

б) эффекты взаимодействия

$$b_{12} = (19-15,57-13,95+3,8+19,12-12,98-24+17)/8 = -0,95;$$

$$b_{23} = (19-15,57+13,95-3,8-19,12+12,98-24+17)/8 = -0,05;$$

$$b_{13} = (19+15,57-13,95-3,8-19,12-12,98+24+17)/8 = 3,23;$$

$$b_{123} = (-19+15,57+13,95-3,8+19,12-12,98-24+17)/8 = 0,73;$$

3) Проверка адекватности моделей

$$s_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{N - (k + 1)}$$

$N - (k + 1) = 8 - (3+1) = 4$ – число степеней свободы дисперсии адекватности

для $y_I s_{ад}^2 = 0,1204$

Критерий Фишера $F = s_{ад}^2 / s_{оо}^2 = 0,0401 < 3,8$ (табличное значение), то есть модель адекватна.

4) Проверка значимости коэффициентов уравнений регрессии

$$s_{(bj)}^2 = s_{оо}^2 / N \quad \Delta b_j = \pm t_{s(bj)}$$

для y_I

Критерий Стьюдента $t (\alpha=0,05; f=N-8) = 2,306$ (табличное значение) [Математическая статистика для психологов, таблица критических значений t-критерия Стьюдента [электронный ресурс] режим доступа: <https://statpsy.ru/t-student/t-test-tablica/>].

$$s_{(bj)}^2 = 0,333$$

$$s_{(bj)} = 0,57$$

для y_I доверительный интервал для коэффициентов $\Delta b_j = \pm 2,306 \cdot 0,57 = \pm 1,314$.

$b_0, b_1, b_3, b_{13} > \Delta b_j$ – значимые коэффициенты.

$b_2, b_{12}, b_{23}, b_{123} < \Delta b_j$ – незначимые коэффициенты, не входят в уравнение, т.е. не влияют на y .

Уравнение линейной регрессии

$$y_I = 15,7 + 2,594x_1 - 3,34x_3 + 3,23x_1x_3 (\text{мг ООУ/л}).$$

Приложение П.9

Условия и итоги обработки плёнок ДТ порошками их фиксаторов

Вид адсорбента на базе	Условия контакта фаз и показатели суточной эффективности				
	площадь зеркала воды, см ²	размер фракции, мм	толщина пленки, мм	внесенная (г) и удельная (г/м ²) доза фиксатора	максимальная величина (г/г) и степень фиксации, %
К СКО	86,59	1,0-2,0	0,137	0,05 – 5,77	1,60 - 9,52
				0,15 – 17,32	4,73 - 84,52
				0,25 – 28,87	3,36 - 100
			0,274	0,05 – 5,77	0,80 - 2,38
				0,15 – 17,32	3,80 - 33,92
				0,25 – 28,87	3,52 - 52,36
			0,137	0,05 – 5,77	0,56 – 3,33
				0,15 – 17,32	0,79 - 14,05
				0,25 – 28,87	0,75–22,39
АУ СКО	86,59	1,0-2,0	0,137	0,05 – 5,77	0,56 – 3,33
				0,15 – 17,32	0,79 - 14,05
				0,25 – 28,87	0,75–22,39
			0,274	0,05 – 5,77	0,12 - 1,85
				0,15 – 17,32	0,82 - 7,32
				0,25 – 28,87	0,80 – 11,85
К РШ	86,59	1,0-2,0	0,137	0,05 – 5,77	0,12 – 0,71
				0,15 – 17,32	0,14 – 2,50
				0,25 – 28,87	0,13 – 3,93
			0,274	0,05 – 5,77	0,16 - 0,41
				0,15 – 17,32	0,39 - 3,45
				0,25 – 28,87	0,34 – 5,00
АУ РШ	86,59	1,0-2,0	0,116	0,05 – 5,77	0,14 - 0,82
				0,15 -17,32	0,22 - 3,70
				0,25 – 28,87	0,15 - 5,42
			0,232	0,05 -5,77	0,17 - 0,51
				0,15 -17,32	0,57 - 4,90
				0,25 -28,87	0,51 - 7,19
К ЖД	71	1,0-2,0	0,140	3,00-423	0,85 - 100
			0,280	2,98 - 420	0,86 - 100
АУ ЖД	71	1,0-2,0	0,140	1,99 - 280	1,68 - 100

			0,280	1,99 - 280	1,70 - 100
К ОСМ	71	0,5-1,0	0,200	2,70 - 380	1,64 – 48,07
К ОСМ	71	0,5-1,0	0,300	2,70 - 380	1,73 – 55,00
К ОСМ	71	0,5-1,0	0,400	2,70 - 380	1,68–54,87
АУ ОСМ	71	0,5-1,0	0,200	2,13 - 300	3,05 – 73,02
АУ ОСМ	71	0,5-1,0	0,300	2,13 - 300	2,60–79,53
АУ ОСМ	71	0,5-1,0	0,400	2,13 - 300	2,45 – 76,11
К СКС	71	0,5-1,0	0,200	0,10 – 14,08	1,65 – 13,64
К СКС	71	0,5-1,0	0,300	0,16–23,00	2,00 - 18,24
К СКС	71	0,5-1,0	0,400	0,40 – 56,33	1,90 – 31,40
АУ СКС	71	0,5-1,0	0,200	0,10 – 14,08	2,33 – 19,26
АУ СКС	71	0,5-1,0	0,300	0,16 – 23,00	3,05 – 27,93
АУ СКС	71	0,5-1,0	0,400	0,40 – 56,33	2,30 – 18,02
К ГП	71	0-0,5	0,2	1,42 - 200	0,27–32,22
		0,5-1,0	0,2	1,42 - 200	0,07 – 8,35
АУ ГП	71	0-0,5	0,2	1,42–200	0,36–42,96
		0,5-1,0	0,2	1,42 - 200	0,10 – 11,93
К КПТ	86,59	1,0-2,0	0,116	0,05 -5,77	1,40 – 8,33
				0,15 -17,32	2,67 – 47,62
				0,25 – 28,87	2,64 – 78,50
			0,232	0,05 -5,77	5,20 – 15,47
				0,15 -17,32	3,53 – 31,55
				0,25 -28,87	3,36 – 50,00
АУ КПТ	86,59	1,0-2,0	0,116	0,05 - 5,77	0,80 - 4,76
				0,15 – 17,32	4,60 - 82,14
				0,25 – 28,87	4,60 - 100
			0,232	0,05 -5,77	0,20 - 0,59
				0,15 -17,32	3,40 - 30,36
				0,25 -28,87	3,96 - 58,93

Примечание: К – продукт пиролиза, АУ – уголь паровой активации.

Приложение П.10.

Экспериментальные данные для построения рисунка 37

№	Тип фиксатора	Толщина пленки ДТ, мм	Доза фиксатора, г/м ²	Эффективность фиксации, %
1*	СКО К	0,274	29	100
2*	СКО АУ	0,274	29	40
3*	РШ К	0,274	29	5
4*	РШ АУ	0,232	29	7
5*	ЖД К	0,280	420	100
6*	ЖД АУ	0,280	280	100
7**	ОСМ К	0,300	380	55
8**	ОСМ АУ	0,300	300	79
9**	СКС К	0,300	23	18
10**	СКС АУ	0,300	23	28
11**	ГП К	0,200	200	8
12**	ГП АУ	0,200	200	12
13*	КПТ К	0,232	29	50
14*	КПТ АУ	0,232	29	59

Примечания: фракции фиксатора *1-2 и **0,5-1 мм

Приложение П.11.

Экспериментальные данные по кинетике насыщения полученных активных углей парами н-бутанола из потоков их смесей с воздухом при 20–22°С и относительных давлениях 1 и 0,1

Адсорбент и величина р/ps	Величина поглощения паров н-бутанола (мг/г) при времени контакта фаз (мин.):											
	2,5	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
СКО, 1,0	18,2	42,1	88,1	125,3	157,8	207,0	206,0	206,0	-	-	-	-
СКО, 0,1	24,3	62,2	79,1	77,6	83,5	87,0	87,0	-	-	-	-	-
РШ, 1,0	4,8	12,0	26,1	33,6	42,0	45,0	45,1	45,1	-	-	-	-
РШ, 0,1	3,3	5,0	7,4	7,6	7,8	7,8	-	-	-	-	-	-
ЖД, 1,0	21,0	35,3	69,9	100,0	108,2	128,9	155,0	166,2	177,1	185,2	189,9	193,0
ЖД, 0,1	7,3	10,0	14,9	18,3	21,5	27,5	31,0	35,1	36,8	38,0	40,2	40,3
ОСМ, 1,0	33,2	66,1	108,0	118,0	120,0	120,0	120,0	-	-	-	-	-
ОСМ, 0,1	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,10	0,10	-	-	-	-	-
СКС, 1,0	18,2	42,0	74,1	108,1	119,2	143,0	158,0	166,0	172,1	175,0	175,0	-
СКС, 0,1	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	0,10	0,10	-	-	-	-	-
ГП, 1,0	55,1	82,9	127,8	134,0	136,	138,0	138,0	-	-	-	-	-
ГП, 0,1	0,01	0,04	0,06	0,10	0,13	0,15	0,15	-	-	-	-	-
КПТ, 1,0	77,6	105,2	158,0	171,3	185,2	191,4	197,2	197,2	-	-	-	-
КПТ, 0,1	9,3	16,1	38,3	44,4	50,2	57,1	63,2	65,2	65,2	-	-	-

Приложение П.12.



THE GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF THE UNION OF MYANMAR

MINISTRY OF HEALTH

DEPARTMENT OF PUBLIC HEALTH

Проректору по науке и инновациям

РХТУ им. Д.И. Менделеева

Хайдукову Е.В.

Дата:

Тема: О результатах диссертационного исследования докторанта РХТУ им.
Д.И. Менделеева Со Вин Мьинт

Уважаемый Евгений Валерьевич!

Позвольте в Вашем лице выразить искреннюю благодарность Российскому химико-технологическому университету имени Д.И. Менделеева за переданную нам Со Вин Мьинт ценную информацию в виде результатов исследований, полученных им при выполнении в стенах Вашего университета диссертационной работы на тему «Основы термического рециклинга растительных отходов Мьянмы в углеродные адсорбенты».

Глубоко ценя сотрудничество с Со Вин Мьинт, выражаем уверенность, что названные результаты диссертационного исследования, в первую очередь касающиеся профиля основной деятельности Мьянманского фармацевтического предприятия (МРЕ) Министерства промышленности Республики Союз Мьянма, будут в ближайшей перспективе успешно

интегрированы в наши проекты путём апробации в соответствующих исследовательских процессах. Заверяем также при этом, что уважаем авторские права и ссылки на работы Со Вин Мьинт будут должным образом отмечены во всех публикациях или продуктах, являющихся результатами наших исследований.

С уважением,



Доктор Мьят Вунна Соз,

директор генеральный

Департамент общественного здравоохранения

Министерство здравоохранения Мьянмы

