

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

На правах рукописи



Мьят Мин Тху

**Разработка активных углей из отходов возделывания
хлопчатника Республики Союз Мьянма**

03.02.08 Экология (химическая технология)

(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2021

Работа выполнена на кафедре промышленной экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

Научный
руководитель:

Доктор технических наук, профессор
Клушин Виталий Николаевич,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева»

Официальные
оппоненты:

Доктор биологических наук, доцент
Пьянова Лидия Георгиевна
Ведущий научный сотрудник отдела
материаловедения и физико-химических методов
исследования Центра новых химических технологий
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Федеральный
исследовательский центр «Институт катализа им.
Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской
академии наук» (Омский филиал)

Кандидат технических наук
Сурков Александр Анатольевич
Доцент кафедры охраны окружающей среды
Пермского национального исследовательского
политехнического университета

Ведущая организация: **Казахский национальный университет имени аль-Фараби**

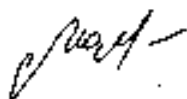
Защита диссертации состоится «27» Апреля 2021 г. в 14:00 часов в конференц-зале (ауд.443) на заседании диссертационного совета РХТУ.05.05 при РХТУ им. Д.И. Менделеева (125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре РХТУ им. Д.И. Менделеева и на сайте <http://diss.muctr.ru>

Автореферат диссертации разослан «____» _____ 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

РХТУ.05.05



Я.П. Молчанова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Интенсивно развивающееся индустриальное производство Республики Союз Мьянма – государства с преобладанием в растущей экономике аграрного сектора сопряжено с увеличением экологических проблем защиты биосферы от негативного воздействия производственных сточных вод, выбросов в атмосферу и твердых отходов. Решение этих проблем в существенной степени связано с использованием пористых углеродных адсорбентов (активных углей). Эти материалы способны при контакте с названными объектами к эффективной фиксации содержащихся в них токсичных органических примесей, тем самым обеспечивая их глубокое обезвреживание и очистку. Однако Мьянма, многочисленные предприятия которой испытывают острую нужду в активных (активированных) углях, практически не располагает собственными их производствами, удовлетворению же потребностей в этих адсорбентах препятствуют высокие цены на них на мировом рынке.

Наряду с этим сырьевую базу предприятий легкой, текстильной отраслей промышленности страны характеризует наличие крупнотоннажных отходов растительной природы, не находящихся масштабного эффективного использования, но способных, судя по имеющимся публикациям, служить основой для производства названных адсорбентов. К числу таких отходов принадлежит, в частности, гуза-пая – полевые остатки уборки урожая хлопчатника в виде стеблей и корневищ растений.

Республика Союз Мьянма не является лидером мирового производства хлопка и даже не входит в десятку основных его производителей, хотя и возделывает хлопчатник с целью экспорта и для собственных нужд в значительных масштабах. С гуза-пай, запахиваемой в почву, от вегетации к вегетации хлопчатника может передаваться ряд грибковых заболеваний, весьма опасных и пагубных для урожая этой технической культуры, как сырьевой базы предприятий легкой, текстильной отраслей промышленности. Учет данного обстоятельства связан с затратными и экологически небезопасными операциями сбора, своевременного удаления с плантаций и упразднения (захоронением, сжиганием) этих отходов.

Таким образом, в Республике Союз Мьянма весьма актуальны проблемы научного обоснования принципов и разработки методов инженерной защиты территорий естественных и искусственных экосистем от воздействия предприятий легкой, текстильной отраслей промышленности.

Реализация собственного производства адсорбентов на базе дешевых отходов возобновляемого растительного сырья потенциально может способствовать решению двуединой экологической проблемы вовлечения в материальный оборот мало утилизируемых отходов с получением углеродных адсорбентов, ориентированных на решение ансамбля природоохранных задач национальных производств. В этой связи важны организация и выполнение исследований, связанных с эффективной переработкой образующихся на плантациях Мьянмы отходов гуза-пай.

Состояние освоенности предмета исследования. Источники доступной научно-технической информации свидетельствуют о возможности применения значительного числа приемов утилизации гуза-пай, среди которых большинство ориентировано на привлечение ряда технологий производства на ее основе изделий строительного назначения. Среди других предложений особенный интерес вызывают сообщения о возможности переработки гуза-пай на активные угли, могущие представлять собой достаточно ценные и широко востребованные продукты. Однако сколько-либо детальные литературные указания по поводу целесообразности и эффективности использования гуза-пай для получения активных углей в доступной литературе весьма скромны, а в части этого отхода возделывания хлопка на плантациях Мьянмы автором не обнаружены.

Эти обстоятельства указывают на необходимость проведения комплекса исследований, ориентированных на установление пригодности названных отходов для получения углеродных адсорбентов путем их переработки по наиболее рациональной и доступной для реализации в стране технологии пиролиза данного сырья с последующей активацией его науглероженных остатков водяным паром.

Цель исследования – разработка систем управления отходами производства и потребления сырьевой базы предприятий легкой, текстильной отраслей промышленности при использовании крупнотоннажных полевых остатков гуза-пай, образующихся на плантациях возделывания хлопчатника Мьянмы, для получения эффективных углеродных адсорбентов с представлением работы к защите, как соответствующей области исследования «Экология человека» паспорта специальности ВАК 03.02.08 – Экология (по отраслям) в части позиций 4.1, 4.2, 4.4 - 4.9.

Для достижения данной цели необходимо было решить следующие **задачи:**

- исследовать влияние отходов сырьевой базы и абиотических факторов технологических процессов получения продукции легкой и текстильной отраслей промышленности на окружающую среду естественных и искусственных экосистем с целью минимизации антропогенного воздействия;
- разработать научно-технические основы переработки крупнотоннажных отходов гуза-пай для получения адсорбентов, используемых для инженерной защиты территорий естественных и искусственных экосистем;
- определить основные технологические параметры ключевых стадий получения адсорбентов на основе отходов сырьевой базы легкой и текстильной промышленности;
- оценить результаты прикладного использования полученных углеродных адсорбентов при обработке ряда сред и потоков, загрязненных токсичными органическими примесями;

- обосновать аппаратно-технологическую схему процесса получения адсорбента, и разработать её ориентировочное технико-экономическое обоснование.

Научная новизна. В работе впервые:

- показана возможность использования крупнотоннажных отходов сырьевой базы легкой и текстильной отраслей промышленности – гуза-пай, образующихся на территории Мьянмы, для инженерной защиты естественных и искусственных экосистем;
- обоснована совокупность технологических основ получения новых агентов эффективной углеадсорбционной очистки и обезвреживания жидкофазных потоков в виде производственных сточных вод, технологических сред и почвенных растворов;
- определены значения управляющих параметров операций пиролиза гуза-пай и активации водяным паром карбонизата, полученного из этого отхода, установлены закономерности их влияния на выход, пористую структуру и поглонительную способность целевых продуктов;
- выявлены особенности реализации, кинетические и равновесные зависимости процессов очистки и обезвреживания производственных сбросов – сточных вод, водных технологических и почвенных растворов, загрязненных опасными органическими примесями, углеродными адсорбентами, полученными из гуза-пай, при инженерной защите естественных экосистем;
- обоснована повышенная способность активных углей на базе гуза-пай к детоксикации почв сельскохозяйственных угодий, содержащих остатки гербицида атразина (майазина) при инженерной защите искусственных экосистем;
- Разработанные технологические решения защищены патентом Российской Федерации.

Практическая значимость.

- разработаны технические решения минимизации антропогенного воздействия отходов сырьевой базы и абиотических факторов технологических процессов получения продукции легкой, текстильной отраслей промышленности на окружающую среду естественных и искусственных экосистем Мьянмы;
- расширены представления о сырьевой базе производства углеродных адсорбентов и условиях их получения, вносящие вклад в эту область научно-технических знаний.

Положения, выносимые на защиту.

- итоги исследования минимизации влияния абиотических факторов технологических процессов и предприятий легкой, текстильной отраслей промышленности на окружающую среду в естественных и искусственных условиях;

- научно-технические основы производства новых углеродных адсорбентов, полученных термической переработкой полевых остатков возделывания хлопчатника (гуза-паи) по схеме пиролиза и активации его карбонизированных продуктов водяным паром;
- результаты термографических исследований образцов гуза-паи и полученного из нее карбонизата в атмосферах азота и воздуха;
- закономерности влияния значений управляющих параметров на структурно-адсорбционные характеристики и выход целевых продуктов пиролиза сырья и активации его карбонизата водяным паром;
- условия реализации стадий пиролиза и активации, обеспечивающие получение адсорбентов с заданными свойствами;
- значения технических характеристик, целевых и побочных продуктов термической переработки гуза-паи на углеродные адсорбенты;
- кинетические и равновесные закономерности процессов очистки и обезвреживания ряда газовых и жидкофазных объектов полученными углеродными адсорбентами;
- принципиальная технология переработки гуза-паи на активные угли и ее аппаратное оформление;
- технико-экономическое обоснование производства 100 т в год активных углей согласно разработанной технологии и результаты оценки предотвращаемого ущерба, при реализации этого производства и использовании его продукции при возделывании данной технической культуры.

Личный вклад автора. Автором осуществлены поиск и анализ литературных источников, информация которых положена в основу аналитического обзора по теме работы, подготовка сырья к исследованиям, монтаж экспериментальных установок, их оснащение средствами управления и контроля рабочих параметров и отладка; выполнен необходимый объем исследований, направленных на установление рациональных условий переработки гуза-паи на углеродные адсорбенты, оценены технические характеристики этих поглотителей и эффективность их использования в решении задач защиты биосферы от негативного воздействия производственных выбросов и сбросов.

Апробация результатов исследования. Основные результаты работы доложены и обсуждены на Международных конференциях молодых ученых по химии и химической технологии 2017 и 2018 гг. (Москва), Международной конференции «Химическая технология функциональных наноматериалов» 2017 г. (Москва), III Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов» 2018 г. (Иваново-Плес), II Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения – 2018» (Курган), Международном конгрессе по химии и химической технологии 2019 г. (Москва), Международных научно-практических конференциях

«Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность» 2018 и 2019 гг. (Севастополь).

Публикации. Основные положения диссертации отражены в 9-ти публикациях автора в трудах названных конференций, 3-х статьях в рецензируемых журналах перечня ВАК, патенте РФ и статье в издании, индексируемом в международных базах данных. Все публикации выполнены в соавторстве.

Структура и объем диссертации. Работа включает введение, 4 главы, выводы и список использованных источников информации из 137 позиций (в том числе 29 англоязычных), изложена на 107 страницах, содержит 36 таблиц и 46 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит краткие сведения об актуальности, научной новизне, практической значимости, целях и задачах диссертационного исследования.

Глава 1 представляет аналитический обзор источников информации, освещающих общие сведения об активных углях, их производстве и использовании, ряд подробностей выращивания хлопчатника в Мьянме и образования полевых остатков возделывания этой технической культуры, пути утилизации подобных растительных отходов, в частности, в качестве сырья для производства активных углей. Обзор завершен выводами и формулировкой задач исследования.

В главе 2 в составе трех разделов охарактеризованы объекты, средства и методы выполненного исследования. Здесь приведен ряд характеристик использованной в работе гуза-пай – отхода возделывания хлопчатника, выращиваемого на плантациях в Мьянме, иллюстрируемых, в частности, рис. 1-3.



Рис. 1. Массив фрагментов сырья, подготовленного к исследованию

Осуществленными измерениями выявлено, что насыпная плотность фрагментов подготовленного к исследованиям сырья в воздушно сухом состоянии составляет $0,3 \text{ кг/дм}^3$, а их прочность при истирании несколько превосходит 99,5 %. Содержание в этом сырье золы и влаги по массе равно 6,4 и 2,7 % соответственно. С привлечением оборудования исследовательского центра коллективного пользования (ЦКП) РХТУ им. Д.И.

Менделеева получены микрофотографии (рис. 2) и спектры элементного состава отдельных точек поверхности фрагментов этого сырья (рис. 3). Усредненные величины спектров приведены в табличном виде, однако их сопоставление с элементным составом органической компоненты гуза-пай (табл. 1) осложнено из-за отсутствия данных о наличии водорода.

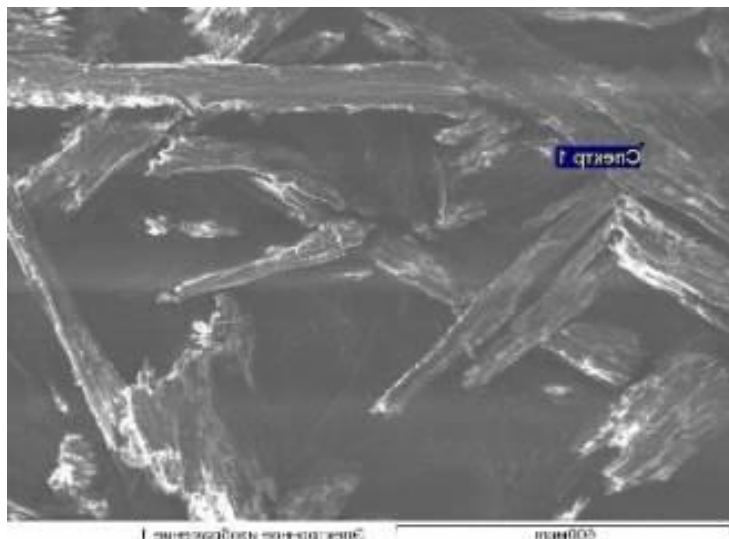


Рис. 2. Электронное фото поверхности фрагмента гуза-пай

Наряду с этим в главе 2 как объекты исследования перечислены целевые и побочные продукты пиролиза сырья и активации его карбонизата водяным паром, частично охарактеризованы образцы выбросов и сбросов, использованные для обработки углеродными адсорбентами, полученными из гуза-пай, а также использованные в работе опытные установки и аналитические методики.

Табл. 1. Осредненный элементный состав органической части воздушно сухой гуза-пай

Элемент	С	Н	О
Содержание, % масс.	65,74	0,21	34,05

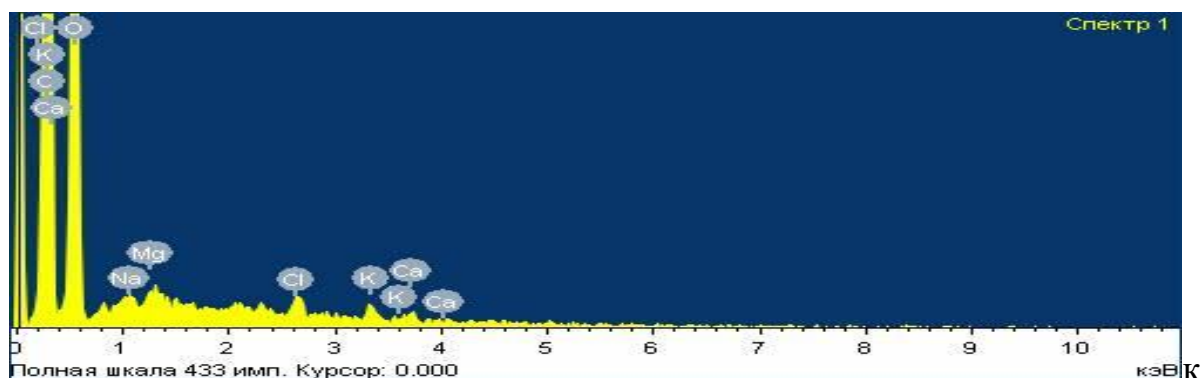


Рис. 3. Спектр элементного состава поверхностной точки фрагмента гуза-пай согласно рис. 2

Глава 3 – экспериментально результативная часть работы представлена тремя разделами.

В разделе 3.1 с привлечением дериватографии проанализировано поведение гуза-пай и продукта ее пиролиза при равномерном нагревании до

900 °С с интенсивностью 9 °С/мин в атмосферах азота и воздуха и оценены рациональные границы термического воздействия на эти материалы на основных стадиях получения углеродных адсорбентов – при пиролизе сырья и активации полученного карбонизата водяным паром.

В разделах 3.2 и 3.3 установлены закономерности влияния на выход и технические характеристики полученных углеродных адсорбентов управляющих параметров процессов соответственно карбонизации сырья и активации ее целевого продукта водяным паром, на базе которых обоснованы целесообразные условия реализации обеих стадий (пиролиз/активация: скорость нагревания 10/5 °С/мин, конечная температура 750/800 °С, время изотермической выдержки 60/45 мин, удельный расход пара -/15 кг/кг), обеспечивающие рациональные сочетания выхода и свойств получаемых углеродных поглотителей (табл. 2).

Табл. 2. Технические характеристики карбонизата и активного угля, полученных в рациональных условиях

Адсорбент	Выход, %	Объем пор, см ³ /г:				Величина поглощения, мг/г	
		V _Σ	V _{sH₂O}	V _{sCCl₄}	V _{sC₆H₆}	МГ	J ₂
Карбонизат	26,13	1,44	0,13	0,03	0,13	8,38	69,85
Активный уголь	19,60	1,79	0,23	0,26	0,26	203,56	34,29

Примечание: V_Σ – суммарный, V_s – сорбирующих по парам H₂O, CCl₄ и C₆H₆, МГ – краситель метиленовый голубой, J₂ – йод

В этих же разделах приведены характеристики карбонизата и активного угля на базе гуза-пай, подобные представленным на рис. 2 и 3. Элементный состав органической части сырья/карбонизата/активного угля (в % масс.) по данным ЦКП университета характеризует наличие 50,20/65,74/84,66 углерода, 6,32/1,49/0,21 водорода и 43,48/34,05/13,85 кислорода.

Материальные балансы обеих операций отражают данные табл. 3.

Раздел 3.4 работы характеризует в основном ряд значимых свойства материалов, полученных термической переработкой гуза-пай, и состоит из 10 подразделов.

В подразделе 3.4.1 приведены результаты ориентировочного определения способности полученных из гуза-пай карбонизата (числитель) и активного угля (знаменатель) к вторичному загрязнению обрабатываемой воды в виде величин (в мг/дм³) сухого (47,2/6,2) и прокаленного (27,2/4,5) остатков, образованных путем выпаривания растворов, сепарированных от порошков этих материалов после их настаивания дозой 10 г/л в течение суток в дистиллированной воде, и последующей прокалки полученных сухих остатков.

Табл. 3. Материальные балансы (% масс.) пиролиза гуза-пай и активации его карбонизата водяным паром

Статьи балансов	
Приход	Расход
Пиролиз	
Гуза-пая – 100,00	Карбонизат – 26,67 Конденсат – 36,67 Газы – 36,66
Итого: 100,00	Итого: 100,00
Активация	
Карбонизат 18,42 Водяной пар 81,58	Активный уголь – 6,12 Конденсат – 50,72 Неконденсирующиеся парагазы – 43,16
Итого: 100,00	Итого: 100,00

Подраздел 3.4.2 содержит оценку ионообменной способности полученных из гуза-пай углеродных адсорбентов: величина анионообменной СОЕ карбонизата и активного угля составляет соответственно 2,8 и 3,5 мг-экв/г, однако катионообменной способностью они не обладают.

В подразделе 3.4.3 изложены результаты оценки эффективности улавливания активным углем на базе гуза-пай паров н-бутанола из их ПВС – смесей с воздухом (рис. 4), указывающие на малую эффективность его использования с целью глубокой очистки выбросов от паров летучих органических растворителей.

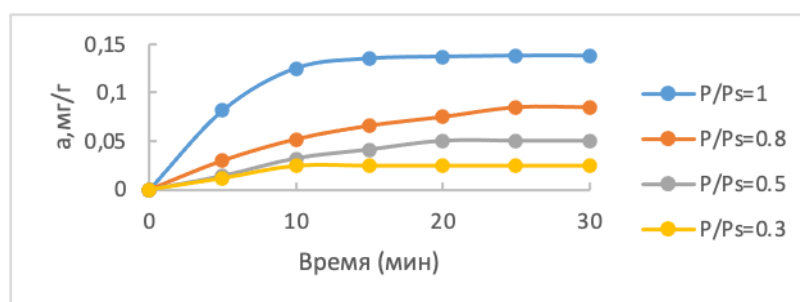


Рис. 4. Кинетика адсорбции при 20 °С паров н-бутанола из их смесей с воздухом активным углем, полученным из гуза-пай: удельный расход ПВС 2,5 л/(см²·мин), размер зерен адсорбента 5х8 мм

В подразделе 3.4.4 оценена способность углеродных адсорбентов на базе гуза-пай к фиксации плавающих пленочных нефтепродуктов (НП) на примере обработки их порошками различных фракций и доз плавающей пленки дизельного топлива толщиной 0,2 мм (рис. 5).

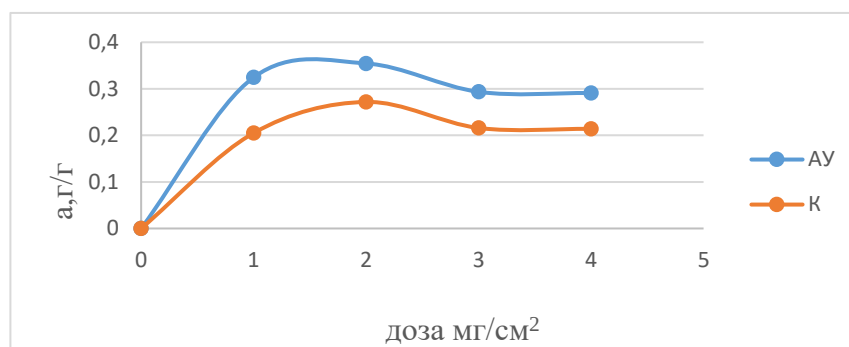


Рис. 5. Связь величин удельной фиксации пленочного дизельного топлива с дозой углеродных поглотителей фракции 0-0,5 мм

Следует отметить, однако, что, несмотря на достаточно хорошую кинетику нарушения обоими адсорбентами целостности пленки дизельного топлива и ее эффективное связывание в плавающие агрегаты «сорбент-НП», многие другие подобные материалы, полученные на основе древесного сырья, а также некоторые низшие растения и растительные отходы отличается способностью к связыванию нефтепродуктов, значительно превосходящая таковую охарактеризованных поглотителей, полученных на базе гуза-пай.

При регенерации сорбента из агломератов «активный уголь-НП», собранных металлическим шпателем с поверхности воды, путем обработки их CCl_4 с последующим избавлением от остатка растворителя в сушильном шкафу при $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ при периодическом взвешивании до достижения постоянной массы и произвольного охлаждения возможно цикличное использование регенерированного агента, эффективность которого иллюстрируют данные рис. 6.

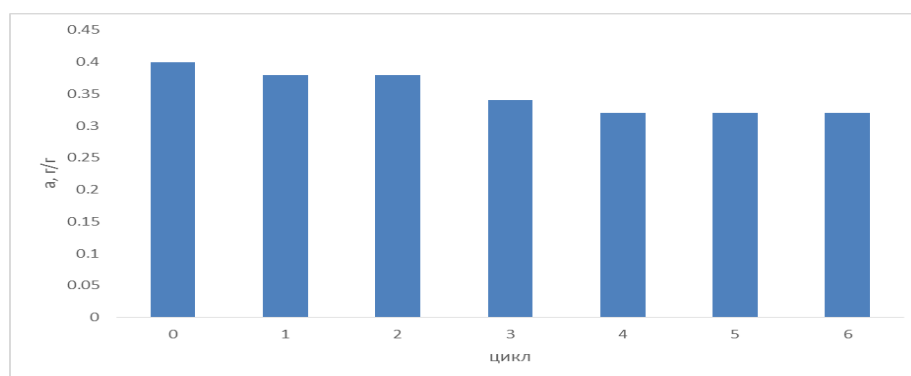


Рис. 6. Эффективность цикличного использования активного угля

В подразделе 3.4.5 активный уголь, полученный из гуза-пай (ГП), охарактеризован как агент глубокой очистки многокомпонентных сточных вод. Данные рис. 7 свидетельствуют, что в одинаковых дозах он демонстрирует лучшую глубину очистки, контролируемую показателем содержания органического углерода (ОУ), чем активный уголь на базе отходов пищевых производств Мьянмы в виде оболочек семян манго (ОСМ).

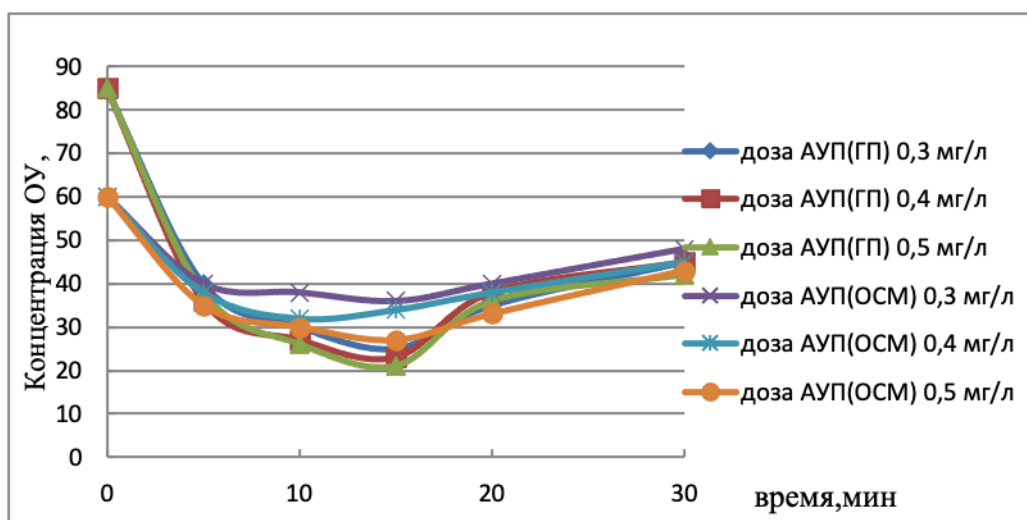


Рис. 7. Кинетика очистки стока АО «Москок» активными углями паровой активации, полученными из гуза-пай (ГП) и оболочек семян манго (ОСМ)

Особенность отражаемой рис. 7 кинетики обуславливает необходимость завершения процесса примерно на 15-й минуте контакта фаз во избежание роста загрязнения, обусловленного конкурентной адсорбцией.

В подразделе 3.4.6 охарактеризована свойственная активным углям на базе гуза-пай весьма высокая способность к обезвреживанию почв, содержащих остатки гербицидов, что иллюстрируют приведенные здесь результаты исследования процесса детоксикации с их использованием почвы, загрязненной гербицидом атразин.

В подразделе 3.4.7 представлены результаты изучения состава конденсатов процессов пиролиза гуза-пай и активации полученного карбонизата водяным паром путем их перегонки на песчаной бане и сведения о возможных путях утилизации и обезвреживания продуктов этих операций.

Подраздел 3.4.8 характеризует неконденсируемые газы операций пиролиза и активации с позиций их горючести, утилизации тепла и обезвреживания.

Подраздел 3.4.9 содержит итоги выполненного ЦКП университета исследования пористой структуры полученных из гуза-пай углеродных адсорбентов методом низкотемпературной адсорбции азота с привлечением специализированного оборудования (рис. 8-11).

Сопоставление изотерм рис. 8 и 9 свидетельствует о весьма слабом влиянии паровой активации на поглотительную способность в отношении азота активного угля по сравнению с таковой карбонизата. Сравнение изотерм адсорбции и десорбции азота для обоих продуктов показывает, что как полученный из гуза-пай карбонизат, так и углеродный адсорбент паровой активации на его основе характеризует незамкнутая петля гистерезиса, указывающая на вероятное частичное химическое связывание азота обоими характеризуемыми материалами. Распределение объема пор по размерам (рис. 10 и 11) позволяет констатировать, что активация карбонизата водяным паром

обеспечивает определенную достаточно слабую трансформацию пористой структуры карбонизата в таковую целевого продукта, сопровождаемую некоторым развитием суммарной пористости, хотя в целом характер распределения объема пор по их размерам весьма близок. В целом же, судя по названным результатам низкотемпературной адсорбции азота, операция активации карбонизата гуза-паи водяным паром в охарактеризованных выше условиях не обеспечивает существенного развития его структурно-адсорбционных свойств, тем самым ставя вопрос о целесообразности ее реализации, что сопряжено с некоторыми аспектами использования получаемых углеродных адсорбентов.

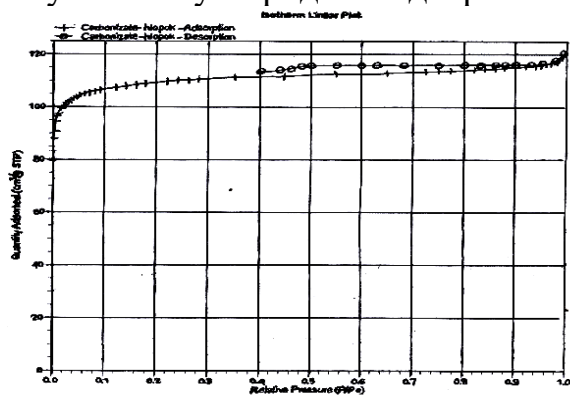


Рис. 8. Изотермы адсорбции – десорбции азота при 77 К на карбонизате

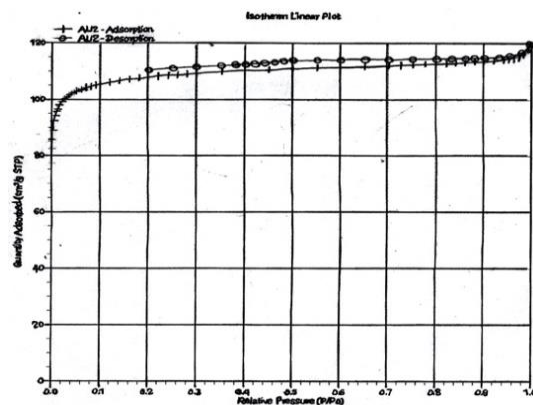


Рис. 9. Изотермы адсорбции – десорбции азота при 77 К на активном угле

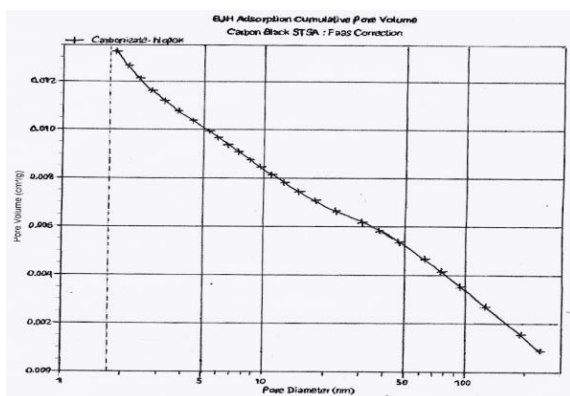


Рис. 10. Распределение объема пор карбонизата по размерам

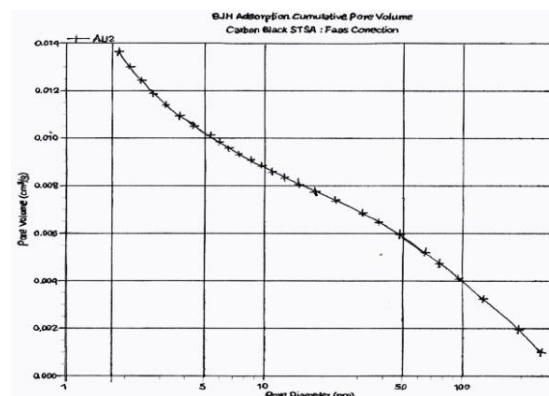


Рис. 11. Распределение объема пор активного угля по размерам

Подраздел 3.4.10 содержит результаты оценки целесообразности переработки гуза-паи на активные угли путем химической активации с использованием в качестве её агентов ZnCl_2 , NaOH , Na_2CO_3 , K_2CO_3 , H_2SO_4 и H_3PO_4 . Охарактеризованные здесь данные свидетельствуют о малой целесообразности использования этих приемов (по крайней мере, с применением изученных активаторов и условий пиролитической переработки

соответствующих сырьевых композиций) для совершенствования структурно-адсорбционных свойств получаемого целевого продукта.

Глава 4 представлена четырьмя разделами, освещающими вопросы практической реализации предлагаемой технологии и ее технико-экономического обоснования.

В разделе 4.1 представлена аппаратурно-технологическая схема гипотетической реализации процесса получения активных углей на основе отходов гуза-пай (рис.12).

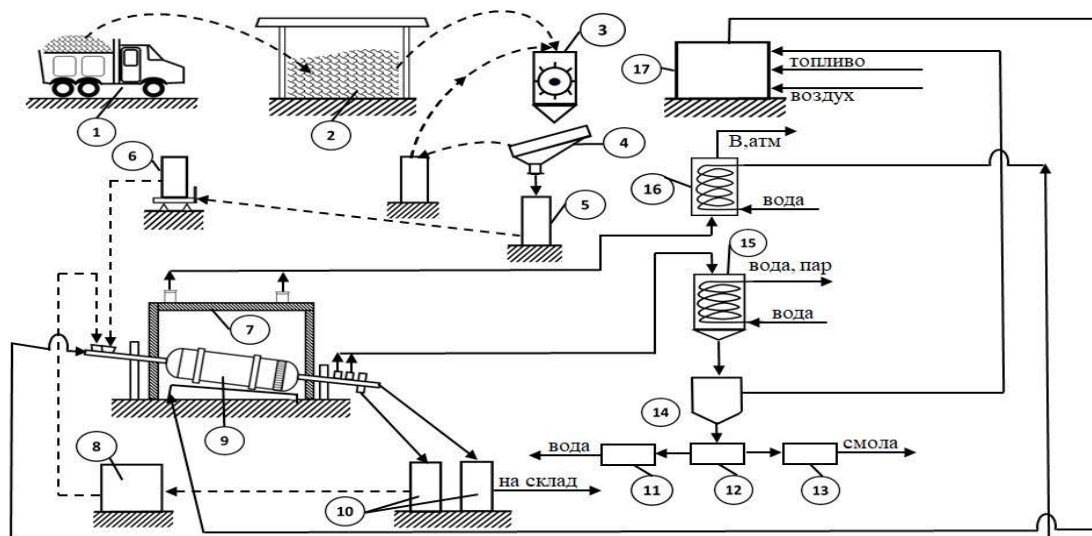


Рис.12. Принципиальная пооперационная аппаратурно-технологическая схема переработки гуза-пай на активные угли методами пиролиза и активации его карбонизата водяным паром:

1 – автотранспортная доставка и разгрузка гуза-пай; 2 – накопление и временное хранение гуза-пай под навесом; 3 – измельчение в дробилке ножевого типа; 4 – грохочение продукта измельчения с получением заданной фракции; 5 – накопление отсева с возвратом на грохочение 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 – емкость надсмольной воды; 12 – отстойник-расслаиватель; 13 – емкость 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 обезвреживания летучих продуктов активации с получением греющих дымовых газов

В разделе 4.2 приведено описание предлагаемой технологии.

В разделе 4.3 освещены предпосылки организации производства и итоги его технико-экономической оценки, характеризующиеся, в частности, данными табл. 4.

Табл. 4. Проектная калькуляция себестоимости целевой продукции

Статья калькуляции	Ед. измерения	Цена за единицу, \$ США	Затраты на годовой выпуск		Себестоимость единицы продукции	
			количество	сумма, \$ США	норма расхода	сумма, \$ США
Сырье	т	25	500	12500	5	125
Энергия на технологические цели:						
электроэнергия	кВт-ч	0,04	16000	640	160	6,4
топливо	т	46	10,3	474	0,103	4,74
Заработная плата	\$ США			22800		228
Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования				18669,79		186,7
Всего						419,44

Необходимо подчеркнуть, что оцененная проектная себестоимость производства 1 т активного угля из гуза-пай, составляющая 419,44 \$ США, сопряжена с заложенной в основу расчета периодической эксплуатацией разработанной технологии и, естественно, может быть снижена при организации непрерывного производства.

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 выражает приведенные затраты (P_3): $P_3 = T_3 + E_n \cdot K_3 = 419,44 + 0,15 \cdot 1074,5 = 580,615$ \$ США на 1 т.

В последние годы оптовые цены в России на активные угли на древесной основе, поставляемые различными производителями, составляют от 80 рублей за 1 кг (в розницу от 130 до 300 рублей за 1 кг) для углей марки БАУ-А, для активных углей на коксовой основе – от 175-195 рублей за 1 кг оптом до 300 рублей за 1 кг в розницу. Поэтому, даже при отпускной цене активного угля на базе гуза-пай на оптовом уровне в 80 рублей за 1 кг, гипотетический годовой экономический эффект ($\mathcal{E}$) от продажи его 100 т в виде разности отпускной цены и приведенных затрат, умноженной на годовой выпуск производства, может составить: $\mathcal{E} = [80000 - (580,615 \cdot 70)] \cdot 100 = 56224,21$ \$ США.

В этой связи результаты выполненных ориентировочных оценок указывают на целесообразность реализации разработанной технологии в условиях Мьянмы, так как она в состоянии обеспечить эффективное вовлечение гуза-пай в материальное производство с получением углеродных адсорбентов удовлетворительного качества для решения широкого ансамбля задач глубокой очистки сбросов национальных производств.

Раздел 4.4 содержит ориентировочную оценку ущерба от загрязнения плантаций хлопчатника полевыми остатками его возделывания и остаточными гербицидами. Его величина при указанном выше объеме производства активного угля близка к 240 млн. руб. (около 3,2 млн. \$ США на январь 2021 г.) и примерно отражает возможный уровень предотвращаемого ущерба при ежегодном использовании на этих плантациях активного угля, получаемого из гуза-паи.

Выводы

- при оценке влияния отходов сырьевой базы и абиотических факторов технологических процессов получения продукции легкой и текстильной отраслей промышленности на качество окружающей среды в естественных и искусственных экосистемах показана возможность минимизации данных антропогенных воздействий при использовании крупнотоннажных сырьевых отходов легкой промышленности (гуза-паи) и полученных из них углеродных адсорбентов;
- разработаны научно-технические основы технологии термической переработки крупнотоннажных отходов гуза-паи с получением углеродных адсорбентов для инженерной защиты территорий естественных и искусственных экосистем;
- определены основные технологические параметры ключевых стадий получения углеродных адсорбентов на основе отходов сырьевой базы легкой и текстильной промышленности;
- изучены закономерности влияния значений управляющих параметров на структурно-адсорбционные характеристики и выход целевых продуктов пиролиза сырья и активации его карбонизата водяным паром;
- установлены кинетические и равновесные закономерности процессов очистки и обезвреживания ряда газовых и жидкофазных объектов полученными углеродными адсорбентами;
- предложена и обоснована аппаратно-технологическая схема процесса получения углеродных адсорбентов на базе гуза-паи;
- выполнена технико-экономическая оценка периодического производства 100 т в год активных углей согласно разработанной технологии, свидетельствующая, что при приведенных затратах 580 \$ США на 1 т продукции и оптовой цене около 1070 \$ США предприятие может иметь годовую прибыль в размере примерно 56200 \$ США, при этом предотвращаемый ущерб от загрязнения почвы плантаций полевыми остатками возделывания хлопчатника может приблизительно составить 3,2 млн. \$ США.

Основное содержание диссертационной работы отражено в следующих выполненных в соавторстве публикациях:
в издании, индексируемом в международных базах данных:

1. Saw Win Myint, Zaw Ye Naing, Min Thu, Myat Min Thu, Klushin V.N. Inexpensive resources of Myanmar as a source of carbon adsorbents //International Journal of Modern Agriculture, Volume 9, No.3, 2020,ISSN: 2305-7246, Page 342-350. (Web of Science) (доля автора 16 %);

в рецензируемых (ChemicalAbstracts) журналах перечня ВАК:

2. Наинг Линн Сое, Зин Мое, Мин Тху, Мьят Мин Тху, Со Вин Мьинт, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Углеродные адсорбенты на базе растительных отходов Мьянмы как средства очистки производственных выбросов и сбросов // Сорбционные и хроматографические процессы, 2019, т. 19, № 5, с. 574-581 (доля автора 12 %);

3. Со Вин Мьинт, Мин Тху, Наинг Линн Сое, Мьят Мин Тху, Зин Мое, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Особенности активных углей, полученных химическим модифицированием из отходов растительного сырья республики Союз Мьянма // Химическая промышленность сегодня, 2020, № 1, с. 32-35 (доля автора 13 %);

4. Со Вин Мьинт, Наинг Линн Сое, Зин Мое, Мин Тху, Мьят Мин Тху, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Термический рециклинг растительных отходов Мьянмы с получением углеродных адсорбентов // Башкирский химический журнал, 2020, т. 27, № 1, с. 61-67 (доля автора 15 %);

в патенте:

5. Клушин В.Н., Мухин В.М., Мьят Мин Тху, Мин Тху, Нистратов А.В. Способ получения активного угля из стеблей растения. Патент РФ № 2714083. Оpubл. 11.02.2020. Бюлл. № 5 (доля автора 25 %);

в материалах конференций:

6. Мин Тху, Мьят Мин Тху, Со Вин Мьинт, Клушин В.Н. Характер деструкции отходов переработки урожая слив и выращивания хлопчатника под воздействием температуры // Успехи в химии и химической технологии, М., РХТУ: 2017, том XXXI, № 9 (190), с. 42-44 (доля автора 38 %);

7. Мьят Мин Тху, Мин Тху, Со Вин Мьинт, Клушин В.Н. К оценке поглотительных свойств науглероженного остатка пиролиза стеблей и корневищ хлопчатника // Сб. материалов международной конференции «Химическая технология функциональных наноматериалов» М.: РХТУ, 2017, с. 184 (доля автора 65 %);

8. Мьят Мин Тху, Мин Тху, Со Вин Мьинт, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Условия получения и технические характеристики углеродных адсорбентов на базе гуза-пай // III Всероссийская научная конференция «Актуальные

проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов», Иваново-Плес, 2018, с. 148-149 (доля автора 70 %);

9. Мьят Мин Тху, Мин Тху, Со Вин Мьинт, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Гуза-пая как источник получения углеродных адсорбентов // 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 (доля автора 65 %);

10. Мин Тху, Мьят Мин Тху, Со Вин Мьинт, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Технологические основы переработки отходов возделывания хлопчатника и консервирования сливы с получением активных углей // Успехи в химии и химической технологии, М., РХТУ: 2018, том XXXII, № 12, с. 64-66 (доля автора 33 %);

11. Со Вин Мьинт, Наинг Линн Сое, Зин Мое, Мин Тху, Мьят Мин Тху, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Возможное направление сокращения пожарной и экологической опасности, связанной с обращением с растительными отходами в Республике Союз Мьянма // 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 (доля автора 11 %);

12. Мьят Мин Тху, Мин Тху, Со Вин Мьинт, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Свойства зерновых адсорбентов, полученных на базе гуза-пай // Сборник статей международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» 23 – 26 сентября 2019 г. Севастополь. Сев. ГУ, 2019, с. 1142-1146 (доля автора 66 %);

13. Наинг Линн Сое, Зин Мое, Мин Тху, Мьят Мин Тху, Со Вин Мьинт, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Способность дисперсных отходов переработки растительного сырья в активные угли к фиксации пленочных нефтепродуктов // Сборник статей международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» 23 – 26 сентября 2019 г. Севастополь. Сев. ГУ, 2019, с. 1152-1155 (доля автора 10 %);

14. Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт, Мин Тху, Мьят Мин Тху, Нистратов А.В., Клушин В.Н. Новые адсорбенты из растительных отходов Мьянмы для решения экологических задач // 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 (доля автора 14 %).