

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый заместитель генерального
директора АО «Эльконский ГМК»,
д-р физ.-мат. наук

 Сарычев Г. А.

ОТЗЫВ

ведущей организации АО «Эльконский ГМК» – горнорудного дивизиона
Госкорпорации «Росатом»
на диссертационную работу Со Вин Мьинт
по теме: «Основы термического рециклинга растительных отходов Мьянмы в
углеродные адсорбенты»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и
высокоэнергетических веществ

«Эльконский горно-металлургический комбинат» занимается промышленной добычей золота в Южной Якутии методом кучного выщелачивания. В качестве растворителей золота применяются цианид натрия и реагенты на основе производных циануровой кислоты - «Jin Chan», YX-500 и др. Выделение золота из растворов выщелачивания проводится методом сорбции на активном угле. В связи с этим научно-исследовательские и другие работы, посвященные получению новых видов угольных сорбентов, являются для нашего предприятия интересными и актуальными.

Диссертационная работа Со Вин Мьинт – гражданина Республики Союз Мьянма ориентирована на оценку пригодности и рациональности использования образующихся в этой стране возобновляемых крупнотоннажных растительных отходов в виде скорлупы кокосовых орехов (СКО), рисовой шелухи (РШ), древесины железного дерева (ЖД), оболочек семян манго (ОСМ), полевых остатков возделывания хлопчатника – гуза-паи (ГП), скорлупы косточек сливы (СКС), кожуры плодов тамаринда (КПТ) и вышедших из употребления букетов роз (БР) в качестве сырья для производства активных углей путем пиролиза и активации водяным паром его науглероженных продуктов и разработку научных основ ключевых термических операций этой технологии.

Актуальность темы исследования

Развивающуюся экономику Республики Союз Мьянма в настоящее время характеризует преимущественно аграрный профиль. Выращивание ряда продукции технического, пищевого и декоративного характера, представляющей значительную долю экспортного потенциала страны, как и переработку её урожая, сопровождает ежегодное образование порядка 100 млн. т растительных отходов. Эти отходы обременительны ввиду весьма низкой степени использования и совокупности ряда проблем, связанных с ними. Наряду с этим разнообразную производственно-хозяйственную деятельность в Мьянме сопровождают, помимо твердых отходов, многочисленные сбросы и выбросы, поступающие в объекты биосферы без должного обезвреживания. Мировая практика свидетельствует, что их глубокую очистку обеспечивает использование активных углей, собственные производства которых в государстве отсутствуют, а наиболее острые нужды в них покрывают за счет импорта. Высокие цены на эти продукты на мировом рынке, целесообразность эффективного вовлечения в производство названных отходов в качестве дешевого и широко доступного сырья для их получения и перспективы природоохранного плана, обеспечиваемые использованием получаемых относительно дешевых углеродных адсорбентов, представляют весомые аргументы актуальности темы исследования автора в рамках реализации государственных планов Мьянмы в области экологии, стратегии устойчивого развития и национальной политики страны.

Идея утилизации разнообразных углеродсодержащих отходов с целью получения углеродных адсорбентов в последние десятилетия является предметом внимания многих исследователей в различных странах. Её реализация, основанная на квалифицированном обосновании (решении ряда теоретических и прикладных задач) условий получения новых углеродных адсорбентов на базе таких часто бросовых материалов, обещает их вовлечение в производство достаточно дорогостоящей продукции, использование которой позволит эффективно решить многие насущные проблем преимущественно в сфере защиты окружающей среды и области здравоохранения.

Научная новизна исследования

В работе впервые:

- системными исследованиями сырья и продуктов его термической деструкции научно обоснована принципиальная возможность термической переработки большинства малоиспользуемых крупнотоннажных растительных отходов Мьянмы для производства углеродных адсорбентов различного качества, конкурентоспособных 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 результатов термографических, физико-химических и химических исследований расширен круг научных знаний об использованных отходах путём выявления свойств, свидетельствующих о принципиальной возможности и перспективности получения из этих материалов углеродных адсорбентов;

- доказаны целесообразность и перспективность воздействия на названные отходы методами пиролиза и активации водяным паром его карбонизированных продуктов, как ключевых этапов технологии получения углеродных адсорбентов, наиболее доступной к реализации в условиях Мьянмы;

- комплексом изученных зависимостей выхода и структурно-адсорбционных свойств углеродных адсорбентов, полученных из использованного сырья, от изменяемых управляющих параметров обеих термических операций выявлены рациональные условия их реализации;

- анализом 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 особенности интенсивного контакта мелких фракций адсорбентов с образцами многокомпонентных стоков с территории коксохимического производства АО «Москокс» и их

взаимодействия с плавающими плёнками дизельного топлива, свидетельствующие о высокой эффективности этих адсорбентов 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, 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 в качестве сырьевых резервов для производства углеродных адсорбентов, чем внесён вклад в область научных знаний об этих материалах, как о потенциальных ресурсах для данного производства;

- термографическим изучением отходов и науглероженных продуктов их пиролиза, выполненным в защитной и окислительной средах, установлены рациональные области термического воздействия на эти материалы в атмосфере продуктов собственного разложения;

- системными исследованиями выявлены особенности и обобщены закономерности влияния факторов и параметров, управляющих процессами пиролиза названных отходов и активации водяным паром их карбонизированных продуктов, на выход, технические свойства и структурно-адсорбционные показатели получаемых углеродных адсорбентов.

- обоснованы оптимальные условия реализации обоих термических переделов, обеспечивающих рациональные сочетания выхода и структурно-адсорбционных свойств получаемых углеродных адсорбентов, что позволило установить технологические основы этих ключевых операций разрабатываемых технологий;

- охарактеризованы тестируемые показатели технических характеристик, пористой структуры и поглотительных 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;

- определён характер влияния типа отходов на режимные параметры операций их пиролиза и активации водяным паром его науглероженных продуктов;

- охарактеризован ряд технологически важных показателей конденсатов и неконденсирующихся газов, как побочных продуктов операций пиролиза и активации, относительно которых обсуждены возможные направления их использования;

- сопоставлением значений интенсивности нагревания сырья и полученных из него карбонизированных материалов, как одного из значимых факторов, определяющих выход, показатели и свойства целевых продуктов операций пиролиза и активации его карбонизатов водяным паром, констатировано их соответствие известным фактам термической трансформации растительных материалов, однако общих чётких количественных закономерностей не зафиксировано;

- полученные адсорбенты испытаны на образцах промышленных стоков АО «Москокс», продемонстрировав их высокую эффективность при очистке от органических загрязняющих веществ. Фармацевтическое предприятие (МРЕ) департамента здравоохранения министерства промышленности Республики Союз Мьянма планирует использовать эти и другие результаты диссертационной работы, касающиеся, прежде всего профиля его основной деятельности, в виде интегрирования в собственные проекты путём апробации в соответствующих исследовательских процессах, о чем свидетельствует письмо-обращение в адрес РХТУ им. Д.И. Менделеева;

- обоснована целесообразность более рационального использования рисовой шелухи путём обработки продукта её пиролиза раствором NaOH, что дает возможность получения наряду с активным углем дополнительной товарной продукции в виде жидкого стекла или диоксида кремния чистотой 98 %. Освобождённый от соединений кремния, отмытый и высушенный углеродный остаток в последствии активируется с хлоридом цинка;

- показано, что модифицирование активного угля на основе древесины железного дерева раствором тиомочевина и последующий пиролиз импрегната обеспечивают изменение ионообменных свойств целевого продукта, придавая ему определённую катионообменную способность и практически сохраняя его структурно-адсорбционные свойства на уровне таковых 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;

- выявлена рациональность химической активации 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;

- выполнена технико-экономическая оценка реализации в условиях Мьянмы производства активных углей путём пиролиза изученных отходов и активации его науглероженных остатков водяным паром, результаты которой свидетельствуют о возможности получения качественной продукции пониженной себестоимости, способной удовлетворить 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;

- совокупностью выполненных исследований внесён потенциально значимый вклад в технологию производства активных углей на основе растительных отходов.

Характер обоснованности и достоверности полученных в работе результатов, изложенных выводов и заключений

Результаты объемных, многосторонних и самостоятельно выполненных исследований автора, первичная экспериментальная информация о которых представлена в приложениях работы, как и сформулированные путем их обработки и обобщения выводы и заключения, базированы на привлечении к их получению и обсуждению широко практикуемых в подобных исследованиях установок лабораторного масштаба, приемов их эксплуатации, современных методов и средств аналитических определений (термография, рентгенография, ИК-спектроскопия, низкотемпературная адсорбция-десорбция азота и др.). Применяемые исследователем методы и приемы оценки характеристик получаемых продуктов в основном являются ГОСТами РФ, что обосновывает легитимность и достоверность полученных данных.

Данные о публикации основных результатов, положений, выводов и заключений диссертации

Существо диссертационной работы отражено в 55 публикациях, включающих 10 статей в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus, Georeff, Chemical Abstracts и WoS, в том числе статья в рецензируемом научном издании перечня ВАК (Со В.М., НаингЛинн Сое, Зин Мое, Мин Тху, Мьят Мин Тху, Нистратов А.В., Клушин В.Н. «Термический рециклинг растительных отходов Мьянмы с получением углеродных адсорбентов» / В.М. Со, Л.С. Наинг, М. Зин [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 61-67), а также монография «Модифицирование в технологии углеродных адсорбентов» / В.М. Мухин, В.Н. Клушин, А.В. Нистратов, Со Вин Мьинт [и др.]. – М: Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 2022. – 326 с.), переизданная в Мьянме на английском языке. Материалы диссертации вошли в 5 патентов РФ на изобретения и 38 докладов, представленных автором научной общественности на всероссийских и международных конференциях различной ориентации.

Объем, структура и содержание диссертации

Текст диссертационной работы изложен на 302 страницах, включающих 46 рисунков и 67 таблиц. Состоит из введения, 4-х глав, выводов и списка литературы из 530 наименований. В диссертации 12 приложений (стр. 303-372), содержащих, в основном, первичную экспериментальную информацию.

Во введении отражены актуальность работы, степень разработанности её темы, цель, задачи, объекты, предметы, методология и методы исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость выполненных исследований, достоверность полученных результатов, личный вклад автора и основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1 представляет обзор доступной литературы по теме «Растительные отходы Мьянмы, как потенциальное сырьё для получения углеродных адсорбентов». В ней весьма детально охарактеризованы значимость растительной продукции в экономике Мьянмы, ряд сельскохозяйственных культур технической, пищевой и декоративной ориентации. Обозначены объёмы и состояние дел в части утилизации растительных отходов в стране и её современные природоохранные проблемы. Рассмотрены углеродные адсорбенты, как средства очистки и

обезвреживания производственных выбросов и сбросов (с информацией о мировом рынке активированных углей). Глава завершена сформулированными выводами и вытекающими из них задачами исследований.

Глава 2 систематизирует общие сведения об использованных в исследованиях растительных отходах (номенклатура, источники образования, происхождение). Представлено экспериментальное оборудование, аналитические и технологические методики, а также экспериментальные данные, полученные с их помощью. Приведены данные об элементном составе отходов, ряде физических характеристик и результатах термографических исследований, выполненных в условиях, детально обозначенных в приложении.

Несомненный научный интерес имеет подраздел 2.6 этой главы (Сопоставительный анализ исследованных отходов, как сырья для получения углеродных адсорбентов). С целью установления количественной связи между видами (природой) отходов и свойствами получаемых из них целевых продуктов по данным термогравиметрии в атмосфере азота проведено сопоставление интенсивности термической деструкции (осредненной скорости разложения) отходов на двух более или менее ярко выраженных характерных температурных участках $-400-625$ и $625-900$ °С. Построены последовательности изменения свойств отходов в виде убывающих рядов. К сожалению, анализ рядов не позволил установить четких связей состава и физических свойств отходов с их термической устойчивостью.

Глава 3 выражает существо обеспечения поставленной в работе цели – выявления оптимальных условий реализации ключевых операций термической переработки использованных отходов: пиролиза сырья и активации его карбонизированных продуктов водяным паром. Рациональные условия обозначены в тексте диссертации, как установление значений ключевых параметров управления обоими процессами, обеспечивающих при технологически целесообразных энергетических затратах получение целевых продуктов с удовлетворительными значениями структурно-адсорбционных показателей и максимального выхода. Здесь по данным представленной в приложении экспериментальной информации обобщены и сопоставлены (в том числе с доступными литературными данными) результаты установления рациональных условий пиролиза отходов и паровой активации его науглероженных остатков. Охарактеризованы внешний вид, величины выходов, структурно-адсорбционные свойства и технические показатели целевых продуктов, полученных в рациональных условиях. Подчеркнуто, что убывающие последовательности оцененных по данным термографических

исследований величин изученных характеристик целевых продуктов пиролиза и активации, не коррелируются со степенью термической деструкции, что не позволяет установить количественных связей между типами (природой) использованных отходов и свойствами получаемых из них целевых продуктов. В главе представлены материальные балансы процессов пиролиза и активации, а также ряд важных сведений об их побочных продуктах (конденсатах и неконденсирующихся газах). На примере жидкофазного обеззоливания (с использованием HF и HCl) продукта пиролиза БР оценена возможность получения на основе использованных растительных отходов карбонизированных материалов с максимальным содержанием углерода. Оценены степени выщелачивания в дистиллированной воде полученных углеродных адсорбентов и их ионообменной способности после паровой активации.

Глава 4 содержит оценку сравнительной эффективности использования полученных углеродных адсорбентов в решении ряда типовых природоохранных и смежных задач наряду с технико-экономическими аспектами организации в условиях Мьянмы производства активных углей из рассмотренных в работе отходов. В разделах 4.1-4.3 представлены кинетические и равновесные закономерности адсорбции паров н-бутанола углеродными адсорбентами, полученными из различных отходов. Это позволило обосновать возможность их использования для решения типовых для Мьянмы проблем глубокой очистки от органических загрязнений многокомпонентных производственных сточных вод (на примере стоков с территории коксохимического производства АО «Москок»). Показана эффективность связывания полученными углеродными адсорбентами плавающих нефтепродуктов в виде дизельного топлива. Очистка паровоздушных выбросов, содержащих летучие органические растворители (на примере н-бутанола), также показала высокую эффективность удаления названных примесей из некоторых сред и потоков. Раздел 4.4 характеризует возможность получения углеродных адсорбентов с иными свойствами путем изменения технологии, модифицирования угля паровой активацией, за счет химической активации исходного сырья. Раздел 4.5 характеризует технико-экономические аспекты организации производства на базе использованных в работе отходов в объеме –30 т/год активных углей паровой активации.

Выводы в должной степени выражают существо и основные итоги выполненного исследования.

Замечания и недостатки

по существу работы:

- **глава 1** диссертации, представляющая собой аналитический обзор, содержит избыточную информацию (в виде географии выращивания различных культур, их климатических зон, происхождения и т.п.), хотя и интересную, но не актуальную относительно темы исследования;

- упомянутые в **главе 3** понятия: рациональные условия, технологически целесообразные энергетические затраты, в работе практически никак не освещены и не обсуждены.

по оформлению работы:

- номера страниц расположения глав диссертации и ряда её разделов, указанные в оглавлении диссертации, не соответствуют их нахождению в тексте;

- диссертации технологической ориентации обычно имеют список условных обозначений и сокращений, предваряющий их текст, однако он в работе отсутствует, хотя на многих её страницах приведены сокращенные (символические) обозначения рассматриваемых показателей, без их расшифровки, что осложняет понимание изложенного текста;

- ряд таблиц диссертации представлен в разрыве, хотя мог бы быть размещен целиком на листе, что затрудняет их изучение;

- текст работы не свободен от ряда упущений орфографического и синтаксического плана, слитного и ошибочного написания отдельных слов. Однако, сложносочиненные предложения, которыми автор выражает свои мысли, говорит о глубоком проникновении в Великий и могучий русский язык;

- ласкают слух выражения типа «результаты, **ансамбль** которых доведен до сведения общественности. «**Ансамбль** операций разделки стволовой древесины. «**Ансамбль** проблем и т.д. Начинаешь понимать, что наука – тоже искусство!

В целом тексты диссертации и автореферата достаточно хорошо оформлены графически и изложены вполне доступным языком. Существо, стиль и характер изложения рассматриваемых вопросов указывают на достаточно высокую научную компетенцию автора диссертации в изучаемой области знаний. Приемы организации и реализации проведенных исследований, их трактовка и обобщение полученных результатов значимых принципиальных возражений не вызывают.

Указанные выше замечания и недостатки не влияют сколько-нибудь существенно на общую ценность изложенного в диссертации очевидно

важного, прежде всего для национальной экономики Мьянмы, достаточно объемного, трудоёмкого, целенаправленного, результативного и завершённого в части поставленной цели исследования, выполненного на современном научно-техническом уровне.

Полученные результаты, значимые для науки и практики, представляют решение задач, имеющих существенное значение для технологии производства углеродных адсорбционных материалов и эффективной утилизации растительных отходов.

Диссертация Со Вин Мьинт «Основы термического рециклинга растительных отходов Мьянмы в углеродные адсорбенты» соответствует паспорту специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ, формуле этой специальности и областям исследования в части:

- п.10. Неметаллические углеродсодержащие материалы. Физико-химические принципы технологии углеродных материалов и изделий, включают стадии подготовки исходных материалов, смешивания и гомогенизации компонентов, формования заготовок или изделий, их упрочнения, высокотемпературных процессов, обработки материалов и изделий для придания им требуемых свойств, формы и размеров. Технологии производства углеродных материалов различного назначения, технический углерод. Сырьевые углеродсодержащие материалы;
- п.11. Научные основы и закономерности физико-химической технологии и синтеза специальных продуктов. Новые технологии производства специальных продуктов;
- п.13. Экологические аспекты переработки топлив. Разработка технических и технологических средств и способов защиты окружающей среды от вредных выбросов производств по переработке топлив, товарных нефтепродуктов и высокоэнергетических веществ.

Диссертация соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», утвержденного приказом и.о. ректора № 103 ОД от 14.09.2023 г.

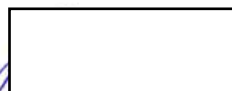
Автор диссертационного исследования «Основы термического рециклинга растительных отходов Мьянмы в углеродные адсорбенты» – Со

Вин Мьинт достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

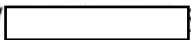
Отзыв на диссертацию Со Вин Мьинт по теме: «Основы термического рециклинга растительных отходов Мьянмы в углеродные адсорбенты», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук, рассмотрен, обсужден и одобрен на заседании Научно-технического совета АО «Эльконский горно-металлургический комбинат» (АО «Эльконский ГМК»). Протокол № 27-Пр/НТС-ГА от 29.10.2025г.

Отзыв подготовил

Начальник отдела технологий и
оборудования Инжинирингового центра
АО «Эльконский ГМК»,
кандидат технических наук



В.Ю. Кольцов

Кольцов Василий Юрьевич, кандидат технических наук, начальник
отдела технологий и оборудования Инжинирингового центра
АО «Эльконский ГМК», входящего в состав горнорудного дивизиона
Госкорпорации «Росатом», (Россия, Москва, 105082, Бакунинская ул., д. 54),
e-mail: VaYKoltsov@armz.ru; у, тел. +7 9