

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

**«Сибирский государственный  
университет науки и технологий  
имени академика М.Ф. Решетнева»  
(СибГУ им. М.Ф. Решетнева)**

*Институт химических технологий*

проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31  
г. Красноярск, 660037  
тел.: +7 (391) 264-00-14 факс: +7 (391) 264-47-09  
<http://www.sibsau.ru> e-mail: [info@sibsau.ru](mailto:info@sibsau.ru)  
ОКПО 02069734, ОГРН 1022402056038  
ИНН/КПП 2462003320/246201001

17.05.2018 № 72-101

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета  
Д 212.249.07  
В Сибирском государственном  
университете науки и технологий имени  
академика М.Ф. Решетнева

д.т.н., проф. Исаевой Е.В.

660049, г. Красноярск, пр. Мира 82  
E-mail: [dissvetsidgtu01@mail.ru](mailto:dissvetsidgtu01@mail.ru)

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу

**Хоанг Куанг Кыонга**

**«Превращения биомассы соломы пшеницы при термообработке в среде  
ионной жидкости на основе 3-метилимидазола»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по  
специальности 05.21.03 – Технология и оборудование химической переработки  
биомассы дерева; химия древесины

Рецензируемая работа посвящена – изучению химических превращений  
компонентов биомассы соломы при термообработке в среде хлорид 1-бутил-3-  
метилимидазолия [BMIM][Cl].

**Актуальность** представленного диссертационного исследования по  
изучению возможности переработки отходов биомассы соломы пшеницы с  
привлечением экологически безопасных технологических способов  
обусловлена наличием крупнотоннажных отходов лигноцеллюлозного сырья и  
не конкурентоспособностью, требующей существенной доработки, как с  
экономической, так и экологической точек зрения существующих на  
сегодняшний день технологий переработки таких материалов.

В создавшейся ситуации необходимы технологии, обеспечивающие  
комплексное использование биомассы растительного сырья с получением не  
только сахаров для ферментации, но и продуктов для химической  
промышленности и медицины. Одним из многообещающих методов  
предобработки лигноцеллюлозного сырья является термообработка в среде  
ионной жидкости, к достоинствам которой можно отнести сравнительно мягкие

температурные условия и экологическую безопасность. Работы, посвященные исследованию процесса термообработки лигноцеллюлозного сырья в среде ионных жидкостей, малочисленны и поэтому знания его возможностей крайне ограничены.

На сегодняшний день механизм растворения биомассы лигноцеллюлозного сырья в ионных жидкостях слабо изучен.

В связи с этим изучение химических превращений компонентов биомассы соломы при термообработке в среде хлорида 1-бутил-3-метилимидазолия и их влияния на реакционную способность полисахаридов соломы при кислотном и ферментативном гидролизе является актуальной задачей.

**Научная новизна** теоретических и экспериментальных исследований, выполненных автором в представленной на отзыв диссертационной работе, состоит в следующем.

Автором получены новые данные о химизме превращения основных компонентов соломы пшеницы при термообработке в среде ионной жидкости. Установлено, что при термообработке в интервале температур от 80 до 150 °С протекают процессы аморфизации целлюлозы, вызванные нарушением внутри- и межмолекулярных водородных связей при взаимодействии с ионной жидкостью. При температурах обработки свыше 120 °С начинается дегидратация углеводов с образованием красящих веществ и деполимеризация лигнина, включающая гидролиз эфирных связей и реакции деметоксилирования. При воздействии ультразвука интенсивность этих процессов возрастает.

Установлено повышение реакционной способности полисахаридов соломы пшеницы в условиях кислотного и ферментативного гидролиза после ее термообработки в среде ионной жидкости в 1,5 и 5,3 раза соответственно.

Впервые для извлечения низкомолекулярных продуктов термообработки биомассы соломы из ионной жидкости использованы методы сверхкритической CO<sub>2</sub>-экстракции и адсорбции на активированном угле. Выявлена высокая эффективность предложенных методов для выделения продуктов и регенерации ионной жидкости.

**Достоверность** полученных результатов исследования не вызывает сомнений. Автор использовал общепринятые методики исследования состава продуктов фракционирования термообработанной соломы и современные методы анализа – ИК- и ЯМР-спектроскопию. Состав низкомолекулярных продуктов идентифицирован методом хромато-масс-спектрометрии.

Диссертационная работа структурно состоит из введения, трех глав, библиографического списка из 176 наименований. Диссертация изложена на 120 страницах машинописного текста, включая 20 таблиц и 40 рисунков.

**В первой главе** представлен аналитический обзор литературы с углубленным анализом библиографических источников по проблеме комплексной переработки соломы пшеницы - быстро возобновляемого источника лигноцеллюлозного сырья.

Показано, что компонентный состав соломы пшеницы сопоставим с составом древесины: целлюлоза 37 - 48 %, гемицеллюлозы 24 - 27 %, лигнин 8,2 - 19,6 % и она может использоваться для производства биотоплива. Однако, основной задачей биохимического превращения лигноцеллюлозы в биоэтанол остаётся разработка эффективного метода преодоления природной стойкости матрицы из трех полимеров (целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина). Преобразование природного лигноуглеводного комплекса до состояния, доступного для ферментативного гидролиза, возможно в результате предварительной обработки.

В литературном обзоре Хоанг Куанг Кыонг подробно рассматривает методы активации растительного сырья, включая физические, химические, физико-химические и биологические методы.

Отдельный раздел данной главы посвящен особенностям состава и свойств ионных жидкостей. Наиболее подробно проведен анализ имеющейся информации по обработке лигноцеллюлозного сырья в среде ионной жидкости.

В целом литературный обзор достаточно полно освещает современное состояние проблемы, что позволило сформулировать цели и задачи исследования.

**Во второй главе** приводится информация о подготовке исходных материалов, обработке соломы пшеницы в среде [BMIM][Cl], фракционировании термообработанной биомассы соломы. Приведены методы исследования состава исходной соломы. Представлена подробная схема фракционирования лигноцеллюлозного материала и методы исследования, полученных в ходе эксперимента фракций, а также описан ферментативный гидролиз исходной соломы и фракций полисахаридов.

Хочется отметить, что автором широко используются современные методы физико-химического анализа и полученные в ходе эксперимента результаты квалифицированно интерпретируются.

**Третья глава** посвящена экспериментальной части исследований.

Приведены результаты исследований компонентного состава исходного сырья.

Исследовано влияние температуры и продолжительности на выход и состав фракций технической целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина. Изложено и обсуждается влияние условий процесса ультразвуковой термообработки на

выход продуктов фракционирования, термообработки на эффективность ферментативного гидролиза полисахаридов, регенерации ионной жидкости для повторного использования. Подробно рассмотрена регенерация дорогостоящего растворителя методами сверхкритической CO<sub>2</sub>-экстракции и адсорбции на активированном угле. Показана их высокая эффективность, позволяющая многократно использовать ионную жидкость в предлагаемом направлении.

В процессе проведенного исследования автором было установлено, что основным процессом, протекающим при термообработке, является нарушение сетки внутри- и межмолекулярных связей, прежде всего, водородных связей, макромолекул компонентов биомассы. Была предложена и реализована схема разделения и выделения отдельных компонентов из исходного лигноуглеводного комплекса. Компонентный состав выделенных фракций был получен с использованием современного метода – ИК-спектроскопии.

Разделы «Заключение» и «Выводы» полностью вытекают из представленных результатов и отвечают на сформулированные в начале исследования цели и задачи.

Автореферат и опубликованные статьи в полной мере отражают содержание диссертационной работы и основных выводов по результатам выполненных теоретических и экспериментальных исследований.

По содержанию и оформлению диссертационной работы Хоанг Куанг Кыонга возникли следующие вопросы и можно сделать следующие замечания:

1. При выполнении диссертационной работы автор не использовал современные методы математического планирования эксперимента.

2. Отсутствуют статистические характеристики результатов эксперимента.

2. На странице 38 диссертации указано, что все эксперименты повторялись трижды. Не понятно чем определялся данный объем выборки и является ли она репрезентативной?

3. Предложение использовать выделенные компоненты в качестве объектов научных исследований (страница 5 диссертации) вызывает сомнения, т. к. вещества в процессе их выделения из исследуемого материала с помощью ионной жидкости претерпевают, как указывает автор, изменения (целлюлоза аморфизируется, разрушаются водородные связи в её макромолекулах, а наименее изученный компонент растительных клеток – лигнин претерпевает реакции деметилирования, разрушение простых эфирных, а возможно и углерод-углеродных связей).

4. Рисунок 1.2 диссертации на странице 10 выполнен крайне некорректно:

- остаток целлобиозы не является элементарным звеном целлюлозы;  
- лигнин не является смесью указанных на рисунке спиртов – они лишь его ароматические предшественники.

5. На рисунок 1.1 диссертации вместо двух межмолекулярных водородных связей показаны несуществующие связи между двумя электроотрицательными атомами кислорода соседних макромолекул целлюлозы.

6. Неприятным моментом, является то, что в тексте диссертации неоднократно термин «гемицеллюлозы» ошибочно используется в единственном числе – страницы 8,10,13,16,18,19,56,57,65, а также рисунок 1.2, который упоминался выше.

Однако, вышеуказанные замечания не изменяют коренным образом основных выводов, сделанных автором по результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Диссертационная работа Хоанг Куанг Кыонга соответствует критериям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные выводы о химических превращениях компонентов биомассы соломы при термообработке в среде ионной жидкости, имеющие существенное значение для комплексной химической переработки легко возобновляемого растительного сырья. Автор работы достоин присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности «05.21.03 – Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины».

Официальный оппонент:

доцент кафедры «Машины и аппараты промышленных технологий»  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий»,  
кандидат технических наук по специальности 05.21.03 – Технология и  
оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины

Чендылова Л.В.

Подпись Чендыловой Ларисы Валерьевны  
Заверяю: заместитель Ученого секретаря  
Ученого совета СибГУ им. М.Ф. Решетнева



А.И. Криворотова

660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82,

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный технологический университет»,  
кафедра «Машины и аппараты промышленных технологий».

Контакты: рабочие телефоны (391) 227-86-19,227-37-10; мобильный телефон: 8-913-831-80-69; факс: (391) 227-34-53; e-mail: [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru).