

УДК 547.4+547.7+674.02+676.2

ПРОБЛЕМЫ И ДОСТИЖЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

канд. техн. наук, доц. М.О. ШЕВЧУК;
д-р хим. наук, проф. В.С. БЕЗБОРОДОВ; канд. техн. наук Е.П. ШИШАКОВ
(Белорусский государственный технологический университет, Минск);
д-р хим. наук М.А. ЗИЛЬБЕРГЛЕЙТ
(Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск);
канд. хим. наук, доц. С.Ф. ЯКУБОВСКИЙ
(Полоцкий государственный университет)

Рассматриваются проблемы и достижения переработки растительного сырья. Обобщены результаты работы авторов по переработке растительной биомассы в ценные продукты, полупродукты и материалы: фурфурол, фурфуроловый спирт, кормовой белок, уксусную кислоту, этанол, микрокристаллическую целлюлозу, органосольвентную целлюлозу, вискозный корд, целлолигнин, оксидаты целлолигинина (стимуляторы роста растений), γ -аминомасляную кислоту, γ -гидроксимасляную кислоту.

Ключевые слова: *растительное сырье, растительная биомасса, фурфурол, целлюлоза, лигнин, стимуляторы роста растений.*

Введение. В настоящее время объемы добычи и переработки нефти превысили 4,4 млрд т в год [1]. Цены на нефть в последние два десятилетия растут (хотя и с существенными колебаниями), поэтому для своего устойчивого развития человечество должно разработать технологии получения органических веществ и продуктов как альтернативу нефтехимии. В связи с обозначенной проблемой активно ведутся исследовательские работы по использованию других видов ископаемого углеродсодержащего сырья: каменного и бурого углей (получения жидких углеводородных топлив), торфа (полисорбентов), горючих сланцев [2–4], а также возобновляемых источников сырья: древесины, сельхозотходов растительного и животного происхождения, водорослей, которых образуется 150 млрд т в год [5–7].

Наибольший практический интерес для Беларуси, на наш взгляд, представляет переработка растительной биомассы – древесины, сельхозотходов, поскольку они являются возобновляемым сырьем, из которого можно получить ценные продукты, полупродукты и материалы [5–7].

Основная часть. Сухая растительная биомасса однолетних и многолетних растений на 25...50% состоит из целлюлозы, 15...30% из лигнина, 5...25% из гемицеллюлозы. Целлюлоза – самый распространенный природный полимер, абсолютная масса которого значительно превышает количество любого другого органического вещества. Она является важным сырьем для химической переработки, на основе которого можно получать различные технически ценные и во многих случаях незаменимые продукты и материалы [8 с. 5; 9–12].

Путем действия органических или минеральных кислот, солевых катализаторов при повышенной температуре полисахариды растительного сырья гидролизуются до моносахаридов, которые в дальнейшем могут быть переработаны микробиологическим путем в кормовой белок, этанол, глицерин, молочную кислоту и другие вещества и продукты [12–16].

Ниже приведена схема, показывающая, какие вещества и продукты могут быть получены из растительного сырья (рисунок 1).

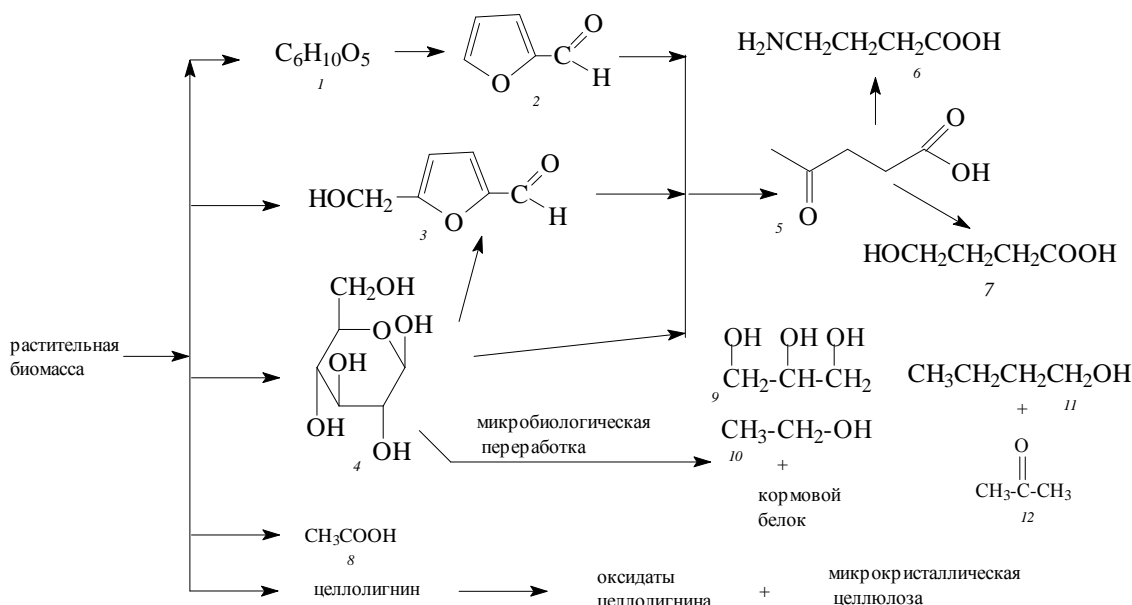
В Белорусском государственном технологическом университете (БТИ), который известен школой получения фурфурола, разработаны различные технологии его получения. По одной из них совместно можно получить фурфурол и кормовой белок [17].

На *первой стадии* из гемицеллюлоз парофазным гидролизом с использованием соляных катализаторов получают фурфурол; на второй стадии целлолигнинный остаток подвергают жидкофазному гидролизу в присутствии 0,3...0,7%-ного раствора серной кислоты [18].

На гидролизате, полученном на *второй стадии процесса*, содержащем 2...3% моносахаров, выращивают дрожжи *Candida tropicalis* и *Candida scotti*. По предложенной технологии из 1 т абсолютно сухой березовой щепы получается 60...70 кг фурфурола, 80...90 кг кормовых дрожжей (39...44 кг истинного белка) [19–20]. Технология внедрена на Мантуровском гидролизном биохимическом заводе (Россия, Костромская обл., г. Мантурово).

По второй разработанной технологии фурфурол получают с использованием комплексных катализаторов (смеси органических и минеральных кислот). Для приготовления комплексного катализатора предложено применять отходы фурфурольного производства – фурфурольный лютер (водный

1,2%-ный раствор уксусной кислоты), в который в необходимом количестве добавляется концентрированная серная кислота [21; 22].



1 – пентоза (ксилоза); 2 – фурфурол; 3–4-гидроксибутионовая кислота; 4 – глюкоза; 5 – левулиновая кислота; 6 – γ -аминомасляная кислота (4-гидроксибутионовая); 7 – γ -гидроксибутионовая (4-аминобутионовая) кислота; 8 – уксусная кислота; 9 – глицерин; 10 – этанол; 11 – бутанол; 12 – ацетон

Рисунок 1. – Схема переработки растительной биомассы путем гидролиза

Схема разработанного технологического процесса представлена на рисунке 2. Данная технология внедрена на РУП «Речицкий опытно-промышленный гидролизный завод». Проведенные промышленные испытания позволили установить, что выход фурфурола из отходов фанерного производства при применении раствора комплексного катализатора увеличился на 20% по сравнению с действовавшей на предприятии технологией. Фурфурольный лютер содержит 1,5...2,0% уксусной кислоты, образующейся при повышенных температурах при деацетилировании растительной ткани [23]; может быть использован для получения товарных продуктов: уксусной кислоты, ацетата кальция и др.

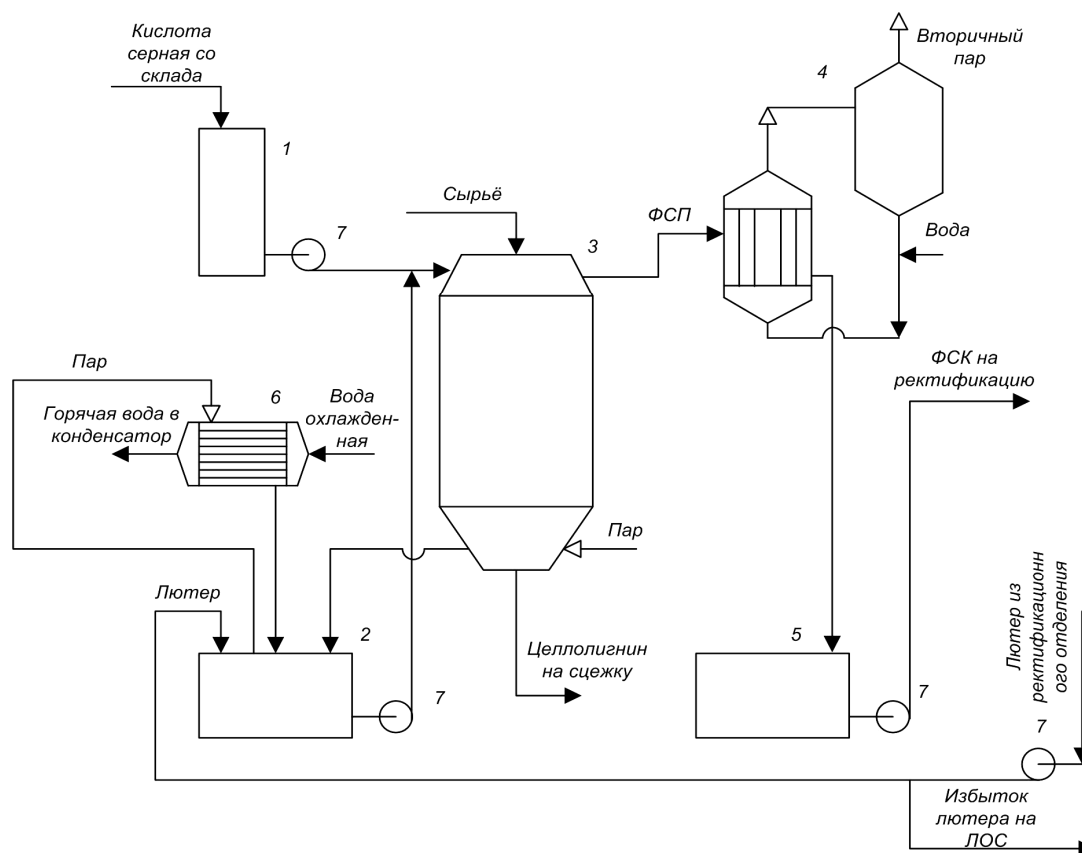
Изучена возможность получения фурфурилового спирта из фурфурола перекрестной реакцией Каннищаро с формальдегидом [24]. Максимальный выход фурфурилового спирта достигал 75% от теоретически возможного. Как побочный продукт образуется формиат натрия, из которого может быть получена муравьиная кислота, используемая в ряде производств.

Фурфуриловый спирт находит широкое применение в технологии получения связующих в машиностроении и деревообработке. С его использованием авторами разработана рецептура смол для холоднотвердеющих смесей [25], «горячих ящиков» [26], амин процесса [27], горячеплакированных смесей [28]. С использованием фурфурилового спирта можно получать высококачественные водостойкие смолы для изготовления древесностружечных плит [29; 30], фанеры [31; 32], при изготовлении мебели [33]. Полученные авторами новые смолы прошли промышленные испытания, по результатам которых сделаны выводы о пригодности их для изготовления стержней и отливок в цехе алюминиевого литья ОАО «Минский моторный завод».

Гидролизное производство характеризуется значительным количеством твердых отходов: лигнина и целлюлозигнина, которые утилизируются сжиганием. Предложено использовать лигнин, являющийся отходом гидролизного производства, в качестве сырья для получения стимулятора роста растений [34; 35]. Авторами предложено также из целлюлозигнина фурфурольных варок получать стимулятор роста растений [35; 36]. Разработан режим получения стимулятор роста растений (оксидат лигнина).

Исследования показали, что оксидат лигнина представляет собой сложную смесь низкомолекулярных веществ, преимущественно кислого характера. Суммарное содержание этих веществ составляет 20...25% от массы сухих веществ оксидатов. Основную часть оксидатов (75...80% сухих веществ) составляют нелетучие поликарбонные кислоты.

В результате реакции получают два основных продукта: водорастворимый оксидат лигнина и твердый полисахаридный остаток (микрористаллическая целлюлоза), выходы этих продуктов составляют соответственно 30...35 и 40...50% от массы абсолютно сухого сырья (а.с.с.) – целлюлозы.



1 – мерник серной кислоты; 2 – сборник лютера; 3 – гидролизатор; 4 – паропреобразователь; 5 – сборник фурфуролсодержащего конденсата (ФСР); 6 – теплообменник; 7 – центробежный насос; 8 – расходомер; 9 – плунжерный насос

Рисунок 2. – Схема разработанного технологического процесса получения фурфурола с использованием комплексных катализаторов

Оценка действия калиево-аммонийных солей оксидатов на ряде лесных культур показала, что полученные оксидаты обладают росторегулирующими свойствами. Всхожесть семян ряда сельскохозяйственных, декоративных и лесных культур под действием растворов солей оксидантов повышается на 25...31%, энергия прорастания – в 1,18...1,58 раза [34–38].

При повышенных температурах под действием кислотных катализаторов происходит разложение пентозанов в фурфурол и далее в леволиновую (4-оксопентановую) кислоту (ЛК). Гексозаны в этих условиях последовательно трансформируются в гексозы, 5-гидрокси-метилфурфурол и в конечном итоге в ЛК [39]. Таким образом, вся холлоцеллюлоза древесины (70...75% от массы а.с.с.) может быть трансформирована в ЛК – ценное сырье для химической промышленности. Из нее могут быть получены эфиры и соли ЛК, которые применяют в пищевой промышленности в качестве консервантов, при производстве косметики – как стабилизаторы и отдушки, эфиры гликолей являются пластификаторами [7].

Соединения, синтезированные на основе ЛК (рисунок 3), применяют как ингибиторы коррозии, инициаторы радикальной полимеризации, сшивающие агенты, входят в состав жидких кристаллов, используются как антифризы [7; 39]. Леволиновая кислота доступна, поэтому методы синтеза соединений, получаемых на ее основе, легко конкурируют с другими синтетическими подходами.

Для ЛК возможны превращения обеих функциональных групп, вследствие этого из нее можно получить различные гетероциклы (производные пирролидона, индола, хромона) [39].

Учитывая доступность леволиновой кислоты, в процессе исследований вариантов ее модификации нами были разработаны *альтернативные способы получения γ -аминомасляной и γ -гидроксимасляной кислот* из [40–42].

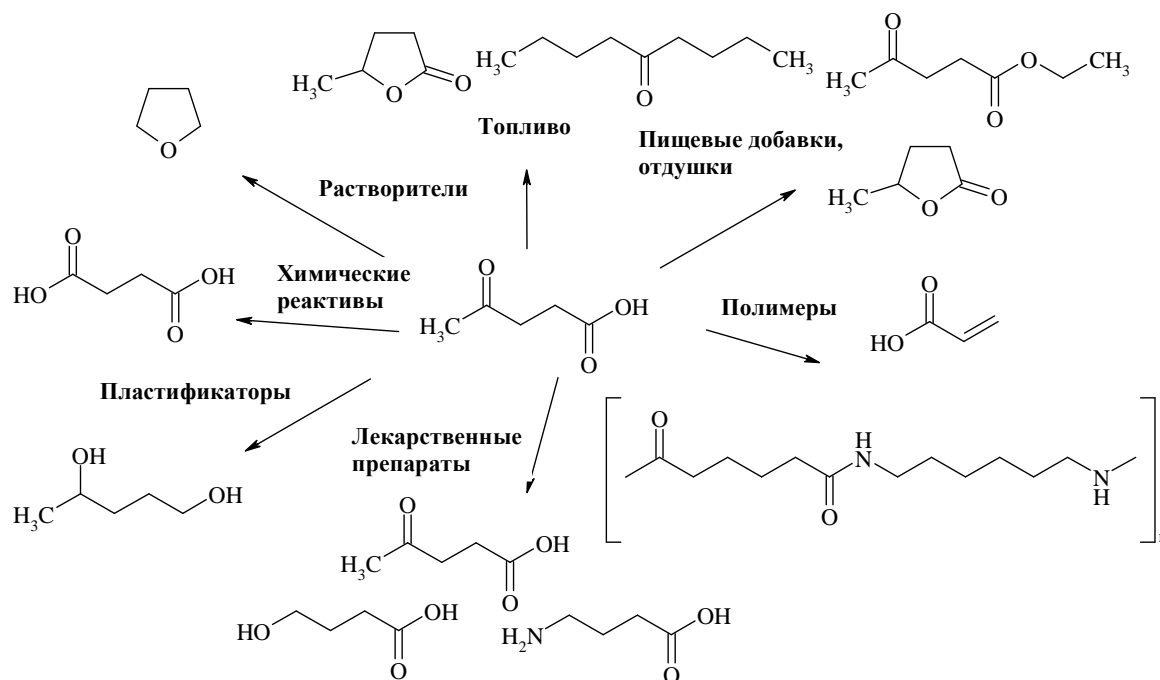
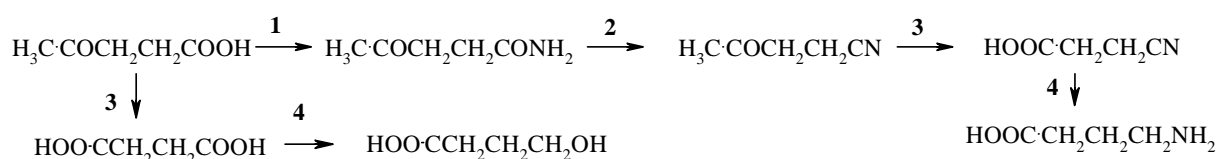


Рисунок 3. – Соединения, синтезируемые на основе левулиновой кислоты



1. $(\text{COCl})_2$, NH_4OH ; 2. – H_2O ; 3. O_2 , V_2O_5 , 4. H_2 , Pd/C .

Аминированием, дегидратацией амида 4-оксопентановой кислоты, затем гидрированием нитрила 4-оксопентановой кислоты на 10% Pd/C и окислением ацетильного фрагмента кислородом в присутствии V_2O_5 получали γ -аминомасляную кислоту, а окислением ацетильного фрагмента кислородом в присутствии V_2O_5 и гидрированием образующейся янтарной кислоты 10% Pd/C или восстановлением ее борогидридом цинка синтезировали γ -гидроксимасляную кислоту.

Производственная деятельность предприятий лесного и химико-лесного комплекса сопровождается накоплением значительно числа твердых отходов – древесных опилок, коры и гидролизного лигнина. Одним из возможных решений данной проблемы является переработка этих отходов в гумусосодержащие вещества [43–51]. Исследования влияния на процесс гумификации влажности сырья, содержания в нем солей азотной и фосфорной кислот позволили установить оптимальные условия процесса гумификации. Использование активного ила, принудительной аэрации и микроэлементов позволили значительно интенсифицировать процесс образования гумусовых веществ. Наиболее медленная конверсия наблюдалась у опилок ели и осины, наиболее быстра у гидролизного лигнина и коры.

Опытно-промышленные испытания органоминеральных удобрений, полученных из лигнина и древесных отходов, на таких культурах, как томаты, розы, сеянцы сосны, показали, что по многим показателям полученные удобрения превосходят традиционное гумусное удобрение – торф. Установлено, что наиболее целесообразно их внесение на тяжелых почвах [43–51].

Проблемы экологии, связанные с получением целлюлозы с применением серосодержащих реагентов (сульфитная и сульфатная варка) требуют принципиального переосмысления способов делигнификации. Авторами разработаны различные варианты способов получения целлюлозы с использованием органических растворителей – водных растворов уксусной и надуксусной кислот [52–56]. Процесс получения целлюлозы с использованием надуксусной кислоты протекает в одну стадию при температурах до $100\text{ }^\circ\text{C}$ и не требует отбелики. Выход такой целлюлозы составляет 53...60% от массы а. с. древесины, при белизне около 80%. Механическая прочность бумаги, полученной из этой целлюлозы, (разрывная длина) составляет 9900...10300 м, сопротивление излому выше 2000 двойных перегибов, тангенс диэлектрических потерь 0,00360 при $200\text{ }^\circ\text{C}$. В ходе дальнейшего совершенствования процесса был предложен принципиально новый двухстадийный способ делигнификации. При варочном модуле 1:1 до 0,1:1 была проведена парогазовая деструкция лигнина, а затем его экстракция 2% раствором гидроксида натрия при

температуре 50 °С. При этом несмотря на снижение выхода целлюлозы, потребительские свойства конечного продукта упали лишь в среднем на 5...7%.

Обнаружено, новое свойство уксусно-перекисной целлюлозы – способность давать фотоизображение в отсутствии солей серебра.

Показано, что производство целлюлозы можно осуществлять с использованием 75% уксусной кислоты при температуре варки 150...170°С. Полученная целлюлоза имела стандартный выход для органо-сольвентной варки 47...51% от массы а. с. древесины и содержала от 1 до 3% лигнина. В процессе варки в качестве побочного продукта был получен так называемый уксуснокислый лигнин, который с успехом заменял до 50% фенола, при производстве фенолформальдегидных смол. Смолы, полученные с использованием уксуснокислого лигнина, имели значительно меньшую токсичность, чем стандартная фенолформальдегидная смола. Кроме того, уксуснокислый лигнин усиливал проклейку небеленой бумажной массы, являлся антиоксидантом в рецептуре резин. Лигноуглеводный комплекс на его основе проявлял аниткоагулянтные свойства для крови [52–56].

Комплекс свойств, характеризующих целлюлозу, даже на современном этапе имеет в значительной степени неиспользованный потенциал, позволяющий создавать модифицированные материалы с улучшенными свойствами и более широким спектром практического использования. К таким свойствам относятся анизотропия, присущая целлюлозе и большинству биополимеров, и образование в определенных условиях жидкокристаллических фаз, характеризующихся высокой упорядоченностью молекул друг относительно друга. Основные исследования анизотропных свойств целлюлозы проводились ранее преимущественно с использованием химически модифицированных или реструктурированных препаратов.

Среди потенциальных материалов, которые могут быть получены с использованием анизотропных свойств целлюлозы, следует отметить:

- легкие и прочные композитные материалы (нити, пленки, бронежилеты и т.д.);
- гибкие экраны;
- эффективные фильтры;
- ультраабсорбирующие гели;
- лекарственные препараты нового поколения и эффективны материалы для медицины.

Разработки модифицированной целлюлозы нового поколения позволят в будущем получать продукцию с высокой добавочной стоимостью.

Авторами разработан новый подход к созданию наноразмерных композиционных материалов для оптоэлектроники, который базируется на использовании функционализации участвующих в реакции компонентов при конструировании анизотропной молекулы с сохранением хиральности природного субстрата ((-) этил L лактата) [57].

В настоящий момент завершено строительство первого в Беларуси завода по производству беленой сульфатной целлюлозы (г. Светлогорск). В качестве побочного продукта при получении целлюлозы образуется сульфатное мыло (смесь натриевых солей жирных и смоляных кислот), в переработке которого заинтересовано ОАО «Борисовский «Лесохимик» сульфатного мыла, что ставит перед белорусскими учеными и производственными работниками новые задачи по рациональному и комплексному использованию растительного сырья.

Выводы. Из растительной биомассы на базе имеющегося на белорусских предприятиях основного оборудования и технологий могут быть получены ценные продукты, полупродукты и материалы: беленая целлюлоза, микрокристаллическая целлюлоза, вязкая кордная нить, фурфурол, фурфуриловый спирт, кормовой белок, уксусная кислота, этанол, целлолигнин, органоминеральные удобрения, стимуляторы роста растений (оксидаты целлолигнина), леулиновая кислота, γ -аминомасляная кислота, γ -гидроксимасляная кислота, качественно новые материалы, созданные с использованием анизотропных свойств целлюлозы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Список стран по добыче нефти [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Дата доступа: 11.08.2017.
2. Гуминовые препараты бурого угля, торфа и методы их деминерализации / И.И. Лиштван [и др.] // Химия твердого топлива. – 2013. – № 3. – С. 147–152.
3. Лиштван, И.И. Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов / И.И. Лиштван, А.К. Карабанов // Природопользование. – 2014. – Вып. 26. – С. 237–240.
4. Пиролиз смесевых составов на основе горючего сланца и бурого угля Беларуси и характеристика получаемых продуктов / И.И. Лиштван [и др.] // Химия твердого топлива. – 2014. – № 2. – С. 3–7.

5. Шевчук, М.О. Пентозансодержащее сырье и анализ сырьевой базы для производства фурфурола в Республике Беларусь / М.О. Шевчук // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия и технология орг. в-в. – 2006. – Вып. XIV. – С. 170–172.
6. Болтовский, В.С. Комплексная гидролитическая переработка пентозансодержащей растительной биомассы с получением фурфурола и белоксодержащей кормовой добавки / В.С. Болтовский // Химия растительного сырья. – 2014. – № 2. – С. 5–12.
7. Rackemann, D.W. The conversion of lignocellulosics to levulinic acid / D.W. Rackemann, W.O.S. Doherty // *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. – 2011. – 5(2). – P. 115–126.
8. Методы исследования целлюлозы / В.П. Карливан [и др.] ; под общ. ред. В.П. Карливана. – Рига : Зинатне, 1981. – 264 с.
9. Шевчук, М.О. / Исследование молекулярно-массового распределения некоторых видов целлюлозы / М.О. Шевчук, Е.П. Шишаков, В.Н. Докучаев // Труды БГТУ. Сер. IV, Химия, технология орг. в-в. и биотехнология. – 2009. – Вып. XVII. С. 247–250.
10. Шевчук, М.О. / Молекулярно-массовое распределение некоторых видов целлюлоз / М.О. Шевчук, Е.П. Шишаков, М.А. Зильберглейт // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–20 нояб. 2008 г. / Белорус. гос. технол. ун-т ; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – С. 75–77.
11. Шевчук, М.О. Рентгеноструктурный анализ сульфатных целлюлоз различных производителей / М.О. Шевчук, М. А. Зильберглейт, Е.П. Шишаков // Химия растительного сырья. – 2013. – № 3. – С. 43–47.
12. Способ получения питательного субстрата для выращивания кормовых дрожжей : а. с. SU 1125244 / Е.Ф. Морозов, В.М. Шкут, М.С. Кебич, Е.П. Шишаков. – Оpubл. 1984.
13. Получение фурфурола двухфазным гидролизом лиственной древесины с применением монокальций фосфата / В. И. Коломеец [и др.] // Гидролизная и лесохимическая промышленность. – 1984. – № 6. – С. 26–28.
14. Способ получения фурфурола и кормовых дрожжей : а. с. SU 1330155 / Е.Ф. Морозов, Е.П. Шишаков, В.М. Шкут, Н.С. Ручай, М.С. Кебич, В.И. Коломеец, П.И. Самсонов. – Оpubл. 15.08.87.
15. Влияние катализаторов фурфурольной стадии двухфазного гидролиза на качество гидролизатов / Е.Ф. Морозов [и др.] // Химия и химическая технология. – 1988. – Вып. 2. – С. 76–79.
16. Шевчук, М.О. Кинетика парофазного гидролиза растительного сырья в автокаталитическом процессе / М.О. Шевчук, Е.П. Шишаков, М.А. Зильберглейт // *Материалы. Технологии. Инструменты*. – 2008. – Т. 13, № 2. – С. 91–93.
17. Способ получения фурфурола и кормовых дрожжей : а. с. SU 1507789 / Е.Ф. Морозов, В.М. Шкут, М.С. Кебич, Е.П. Шишаков. – Оpubл. 15.08.1987.
18. Повышение качества гидролизатов древесины внесением комплексных солей на стадии инверсии / В.М. Шкут [и др.] // *Лесной журнал*. – 1990. – № 2. – С. 104–107.
19. Способ перколяционного гидролиза растительного сырья : а. с. SU 1606538 / В.М. Шкут, О.М. Шевчук, А.Н. Турок, Е.П. Шишаков. – Оpubл. 1990.
20. Влияние азотнокислых и комплексных солей на состав дрожжевой биомассы / В.М. Шкут [и др.] // *Лесной журнал*. – 1991. – № 2. – С. 94–97.
21. Способ получения фурфурола : пат. ВУ 12693 / М.О. Шевчук, Е.П. Шишаков. – Оpubл. 2009.
22. Шишаков, Е.П. Переработка отходов сельскохозяйственного производства с получением кормовых продуктов и строительных материалов и химической продукции / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук, О.Ю. Рекиш // *Инновационные разработки молодых ученых – развитию агропромышленного комплекса : сб. науч. тр. II Междунар. конф. ; ГНУ СНИИЖК. – Ставрополь, 2013. – Т. 3, вып. 6 – С. 302–305.*
23. Шевчук, М.О. Динамика образования уксусной кислоты в результате парофазной обработки растительного сырья / М.О. Шевчук, Е.П. Шишаков, М.А. Зильберглейт // Труды БГТУ. Сер., IV. Химия и технология орг. в-в. – 2007. – Вып. XV. – С. 28–31.
24. Шишаков, Е.П. Переработка лиственной древесины с получением фурфурола, фурфурилового спирта и фурановых смол / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук // *Альтернативные источники сырья и топлива : тез. докл. II междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 мая 2009 г. – Минск, 2009. – С. 43.*
25. Способ получения связующего для изготовления литейных форм и стержней из холоднотвердеющих смесей : пат. ВУ 14304 / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук, А.К. Корнейчик. – Оpubл. 11.01.2011.
26. Способ получения связующего для изготовления литейных стержней в нагреваемой оснастке : пат. ВУ 14722 / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук, А.К. Корнейчик, А.М. Чернягов, В.В. Овчинников. – Оpubл. 10.05.2011.
27. Способ получения связующего для холоднотвердеющих смесей : пат. ВУ 15347 / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук. – Оpubл. 23.09.2011.
28. Способ получения связующего для литейных оболочковых форм и стержней из горячеплакированных смесей : пат. ВУ 14362 / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук. – Оpubл. 27.01.2011.

29. Способ получения связующего для изготовления древесностружечных плит : пат. ВУ 16269 / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук, А.К. Корнейчик. – Оpubл. 28.05.2012.
30. Способ изготовления древесностружечных плит : пат. ВУ 14235 / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук, А.К. Корнейчик. – Оpubл. 30.04.2011.
31. Шишаков, Е.П. Использование фурановых смол для получения древесностружечных плит и фанеры / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук // Современные технологические процессы получения материалов и изделий из древесины материалы : сб. науч. ст. междунар. науч.-техн. конф., 17–21 мая 2010 г. / Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2010. – С. 59–63.
32. Шишаков, Е.П. Применение карбамидоэфирных смол для получения фанеры / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук // Древесные плиты: теория и практика : 12-я междунар. науч.-практ. конф., 18–19 марта 2009 г. ; под ред. А.А. Леоновича. – СПб : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – С. 58–62.
33. Шишаков, Е.П. Новые виды связующих для получения водостойкой фанеры / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии : сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 ч. Ч. 2. – Гродно, 2010. – С. 246–253.
34. Использование продуктов окисления гидролизного лигнина для выращивания лесных культур / Е.П. Шишаков [и др.] // Лесное и охотничье хозяйство. – 2001. – № 3. – С. 14–15.
35. Способ переработки технического лигнина с получением росторегулирующего вещества : пат. ВУ 7788 / Н.А. Зуева, Т.А. Корнейчик, Е.П. Шишаков. – Оpubл. 2005.
36. Шевчук, М.О. Переработка отходов гидролизной промышленности с получением росторегулирующего вещества / М.О. Шевчук, Е.П. Шишаков // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления : материалы междунар. науч.-техн. конф., 28–29 мая 2008 г. / Белорус. гос. технол. ун-т ; редкол.: И.М. Жарский [и др.]. – Минск, 2008. – С. 123–125.
37. пат. ВУ 12825 / М.О. Шевчук, Е.П. Шишаков, В.И. Ващило, А.К. Адамейко, И.С. Полоник. – Оpubл. 04.11.2009.
38. Шишаков, Е.П. Использование отходов переработки древесины в сельском хозяйстве / Е.П. Шишаков, М.О. Шевчук, В.Л. Флейшер // Сборник науч. тр. ГНУ СНИИЖК, Ставрополь, 2014. – Т. 2, вып. 7. – С. 236–240.
39. Тимохин, Б.В. Левулиновая кислота в органическом синтезе / Б.В. Тимохин, В.А. Баранский, Г.Д. Елисеева // Успехи химии. – 1999. – 68 (1). – С. 80–93.
40. Способ получения гамма-аминомасляной кислоты : пат. ВУ 18668 / В.С. Безбородов, С.Г. Михаленок, М.О. Шевчук. – Оpubл. 26.06.14.
41. Способ получения гамма-гидроксимасляной кислоты : пат. ВУ 18669 / В.С. Безбородов, С. Г. Михаленок, М.О. Шевчук. – Оpubл. 26.06.14.
42. Шевчук, М.О. Перспективы получения новых материалов из продуктов переработки растительного сырья / М.О. Шевчук // Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии. Реактив-2012 : тез. XXVI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2–4 окт. 2012 г. – Минск, 2012. – С. 89.
43. Виноградова, Л.М. Окислительная деструкция технического лигнина в комплексоны / Л.М. Виноградова // Материалы. Технологии. Инструменты : тез. докл. науч.-техн. конф. – Солигорск, 1998. – Т. 3, № 2. – С. 131. – (Спец. вып. : Новые материалы и технологии).
44. Горбатенко, И.В. Гумусосодержащее органоминеральное удобрение из отходов древесины / И.В. Горбатенко, М.А. Зильберглейт, М.С. Кебич // Материалы. Технологии. Инструменты : тез. докл. науч.-техн. конф., Солигорск, 1998. – Т. 3, № 2. – С. 139.
45. Пути промышленной переработки древесных отходов химико-лесного комплекса / И. В. Горбатенко [и др.] // Техника и технология экологически чистых производств : тез. 2 междунар. симпоз. молодых ученых, аспирантов и студентов. – М., 1998. – С. 44–45.
46. Переработка технического лигнина в комплексоны и комплексонаты металлов-микроэлементов для сельского хозяйства / В.С. Лисова [и др.] // Менделеевский съезд по общей и прикладной химии (XVI) : Рефераты докл. и сообщ. № 2., М., 1998. – Т. 2 : Состояние и развитие производства химических продуктов. Материалы будущего и нетрадиционные химические технологии. Химические источники энергии. – С. 87.
47. Горбатенко, И.В. Утилизация малоценных отходов древесного вещества в гумусосодержащее удобрение / И.В. Горбатенко, М.А. Зильберглейт, М.С. Кебич // Материалы, технологии, инструменты. – 1996. – № 3. – С. 56.
48. Конверсия технического лигнина растворами азотной кислоты / Л.М. Виноградова [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. – 1999. – № 3. – С. 87–89.
49. Биоконверсия растительного сырья с фиксацией атмосферного азота / И.В. Арсонова [и др.] // Леса Беларуси и их рациональное использование : материалы междунар. науч.-техн. конф., 29–30 нояб. 2000 г., Минск. – Минск, 2000. – С. 113–115.

50. Органоминеральное удобрение из технического гидролизного лигнина / И.В. Арсонова [и др.] // Лесное и охотничье хозяйство. – 2001. – № 4. – С. 23–24.
51. Гумификация древесных отходов в процессе их биодеструкции / М.С. Кебич // Агрохимия. – 1997. – № 3. – С. 17–21.
52. Применение перуксусной целлюлозы в специальных видах бумаги / Л.Ф. Пожидаева [и др.] // Изв. высш. учеб. заведений // Лесной журнал. – 1988. – № 2. – С. 91–94.
53. Способ получения целлюлозного полуфабриката : а. с. SU 1258912 / М.А. Зильберглейт, Б.С. Симхович, Т.В. Каральчук, И.В. Смолова. – Опубл. 07.04.1992.
54. Зильберглейт, М.А. Исследование процесса окислительной делигнификации древесины водными растворами органических надкислот : автореф. дис. ... канд. хим. наук / М.А. Зильберглейт. – Рига, 1982. – 22 с.
55. Способ получения целлюлозного полуфабриката из древесины лиственных пород : пат. RU 2019609 / М.А. Зильберглейт, И.В. Смолова, Б.С. Симхович.
56. Симхович, Б.С. Исследование процесса делигнификации древесины водными растворами уксусной кислоты / Б.С. Симхович, М.А. Зильберглейт, В.М. Резников // Химия древесины. – 1986. – № 3. – С. 34–38.
57. Дизайн анизотропных соединений на основе оптически активных эфиров молочной кислоты [Электронный ресурс] / С.Г. Михаленок [и др.] // Технология органических веществ : тез. 79-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 2–6 фев. 2015 г. / отв. за изд. И.М. Жарский ; УО «БГТУ». – Минск : БГТУ, 2015. – С. 58.

Поступила 04.08.2017

PROBLEMS AND ACHIEVEMENTS OF PLANT MATERIAL

*M. SHAUCHUK, V. BEZBORODOV, Ya. SHISHAKOU,
M. ZILBERGLEIT, S. YAKUBOVSKIY*

The paper summarizes the results of the authors' work on processing plant biomass into valuable products, intermediates and materials: furfural, furfural alcohol, protein feed, acetic acid, ethanol, microcrystalline cellulose, cellulose organosolventnyh, viscose cord, tsellolignin, organic fertilizer, oxidato cellolignina (growth promoters plants), γ -aminobutyric acid, γ -gidroksibutiric acid.

Key words: *plant material, plant biomass furfural, cellulose, lignin, plant growth stimulants.*