

УДК 663.1:631.363

В. С. Болтовский, доцент; Т. П. Цедрик, доцент; Ю. Н. Погорелова, ассистент

РЕСУРСЫ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ И БИОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

On the basis of the analysis of resources and a chemical compound of the basic kinds of a renewed vegetative biomass of Byelorussia the estimation of perspectivity of their use for chemical and biochemical processing is executed. The structure is resulted and the basic directions of application of various kinds of vegetative raw material – wood, waste products of timber cuttings and saw-mills, agricultural waste products, and also scantily explored till now wood-shrubse vegetation and riding peat are considered. In particular, the maintenance of carbohydrates in wood-shrubse vegetation makes 64,4–72,4%, including 20–29,5% pentosans at their high enough maintenance in a bark that allows to recommend rough wood-shrubse raw material for manufacture furfural. The carbohydrate structure of the riding peat, undergone to biochemical processing naturally, insignificantly differs from structure of wood and plants peatcultivates (35,4–47,2%), contains up to 5% of a crude protein and biologically active components that makes possible use of this raw material for reception of carbohydrate-proteinous fodder additives.

Введение. В настоящее время в мире ощущается прогрессирующий дефицит ископаемых видов органического сырья (главным образом нефти и каменного угля). Поэтому возрастает интерес к постоянно возобновляемым в процессе фотосинтетической деятельности и потому практически неисчерпаемым запасам растительной биомассы.

Ежегодно на земном шаре образуется $5 \cdot 10^{10}$ т биомассы растений [1]. Рациональное и эффективное использование этих ресурсов для биоэнергетики, химико-механической, химической и биохимической переработки может способствовать решению энергетических и продовольственных проблем, остро стоящих в настоящее время перед человечеством.

Для Республики Беларусь переработка возобновляемой растительной биомассы, являющейся одним из важнейших сырьевых ресурсов, представляется наиболее экономически целесообразной и технически осуществимой.

Основными видами растительной биомассы в Республике Беларусь, перспективными для крупномасштабного использования при химической, биохимической переработке и в качестве источника энергии, являются древесина (главным образом в виде отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки), древесно-кустарниковая растительность, растительные отходы сельскохозяйственного производства, верховой слаборазложившийся торф.

Анализ этих ресурсов и определение их характеристик важны с точки зрения выбора наиболее рациональных направлений промышленной переработки.

Основная часть. Республика Беларусь имеет значительные запасы древесины. Так, общая площадь лесного фонда составляет 9,248 млн. га, а лесистость территории республики (около

38%) [2] является одной из самых высоких в Восточной Европе. При этом в последние годы наблюдается тенденция накопления запасов древесины [2–4]. Например, в 1983 г. общий запас древесины составлял 843 млн. м³, а в 2001 г. – 1340 млн. м³. В настоящее время в республике заготавливается по всем видам использования 8,5–9,0 млн. м³ древесины [3].

Лесные насаждения представлены в основном сосной – 57%, елью – 11%, березой – 18%, ольхой – 9%, дубом – 3%, осинной – 2%. Другие породы (ясень, клен, липа, граб и т. д.) произрастают в значительно меньшем количестве [3, 5].

Возрастная структура лесов асимметрична: молодняки занимают 37% площади лесов, средневозрастные – 43%, приспевающие – 16%, спелые – 4% [3] или 47,2, 39,7, 10,7 и 2,4% соответственно по другим данным [6], т. е. имеет место неравномерность по группам возраста – основная их доля приходится на молодые и средневозрастные, которые являются только потенциальными источниками сырья, а спелые леса, представляющие наибольший интерес для промышленной переработки, представлены в значительно меньшей степени.

При лесозаготовках древесины, несмотря на применение современной технологии и техники, в настоящее время используется только стволовая часть, составляющая 60–65% биомассы дерева, остальная часть (лесосечные отходы), как правило, остается на лесосеках и не используется [7], но может при рациональной системе хозяйствования рассматриваться в качестве потенциального источника сырья для последующей переработки.

При лесопилении и деревообработке деловой древесины в Республике Беларусь образуется сопоставимое с отходами лесозаготовок (2 млн. м³) количество отходов (1,7 млн. м³) [8],

т. е. твердых (горбыли, срезки, оторцовки) и мягких (опилки, щепа) отходов, составляющих сырьевую базу для использования в качестве топлива, химической, механохимической и биохимической переработки. Химический состав древесины различных пород, традиционно применяемых для гидролитической и биохимической переработки, достаточно хорошо изучен и описан в специальной литературе [9–11]. Древесина хвойных и лиственных пород по суммарному содержанию углеводов примерно равноценна – 64–66%. Среднестатистическое количество легкогидролизуемых полисахаридов в древесине хвойных пород составляет 17–18%, лиственных – 20–27% от массы абсолютно сухого сырья, трудногидролизуемых – 47–48% и 39–44% соответственно. Для древесины лиственных пород характерно более высокое содержание пентозанов (16–22%) по сравнению с хвойной (5–6%). Существующая в настоящее время тенденция использования древесных отходов в качестве топлива при сжигании в топках паровых котлов и газогенераторов, а также потребления собственных отходов предприятиями по производству ДВП и ДСП в некоторой степени снижает возможности их применения для химической и биохимической переработки.

В то же время сырьевая база Республики Беларусь может быть расширена за счет более полного использования древесных отходов и других видов растительной биомассы – древесно-кустарниковой растительности, отходов сельскохозяйственного производства и во-

зобновляемого сырья растительного происхождения – верхового торфа.

Практически не используются до настоящего времени широко распространенные на территории республики Беларусь древесно-кустарниковые растения, являющиеся резервным перспективным источником сырья для переработки.

Так, в лесах Беларуси произрастает около 80 кустарниковых, полукустарниковых и кустарничковых видов, из которых 58 видов кустарников и 10 кустарничков можно отнести к доминантным [12]. Даже приближенная оценка показывает, что в Республике Беларусь только при мелиоративных и культурно-технических работах и в результате санитарных рубок ухода удаляется мелколесье и кустарник с общим запасом 10 млн. м³ [13]. Такое количество позволяет начать разработку технологических методов промышленной переработки древесно-кустарниковой растительности в качестве дешевого сырья для химической и биохимической переработки. Определение химического состава древесно-кустарниковой растительности по методикам, применяемым в химии древесины и гидролизном производстве [14, 15], показало (табл. 1), что она состоит из тех же компонентов, что и древесные породы, несколько отличаясь по количественному содержанию. При этом неизменным остается преобладающее содержание пентозанов у кустарниковых растений лиственных пород по сравнению с хвойными.

Таблица 1

Химический состав, % от массы а. с. с., древесно-кустарниковой растительности

Порода	Зольные вещества	Экстрактивные вещества, растворимые		Лигнин	Целлюлоза	Пентозаны	Полисахариды	
		в воде	в органических растворителях				легкогидролизуемые	трудногидролизуемые
Ель	0,23	1,8	0,9	28,7	48,7	9,8	27,3	48,0
Сосна	0,20	0,6	1,8	28,2	53,8	10,2	27,8	47,7
Береза	0,35	2,8	1,3	21,2	44,3	24,8	26,5	39,4
Дуб	0,27	7,1	0,6	22,5	38,4	22,6	20,2	41,3
Осина	0,28	2,4	1,5	21,4	41,7	22,8	20,3	44,1
Ольха белая	0,64	0,4	3,2	20,8	46,2	24,6	22,6	45,4
Ива	0,48	1,4	2,2	28,4	46,3	24,7	28,8	43,6
Крушина	0,23	1,5	4,9	17,9	39,6	23,2	28,2	44,3
Рябина	0,68	0,7	2,9	22,4	46,4	29,6	27,2	46,4
Можжевельник	0,22	0,5	6,3	21,7	48,3	15,5	22,4	45,2
Орешник	0,42	0,9	2,6	22,0	47,4	29,2	28,3	47,6

Существенно различается химический состав ствола и ветвей и состав древесины и коры. В древесине ствола содержится большее количество целлюлозы, в ветвях содержится меньше целлюлозы и больше пентозанов, экстрактивных и зольных веществ (табл. 2).

По химическому составу кора резко отличается от древесины. В табл. 3 приведен химический состав коры древесных пород, наиболее распространенных среди древесно-кустарниковой растительности. Из таблицы видно, что кора содержит большее количество зольных элементов, экстрактивных веществ и лигнина. Количество пентозанов и целлюлозы значительно меньше, чем в древесине, причем содержание в коре хвойных и лиственных пород примерно одинаково.

Из анализа литературных данных [9, 16] и результатов исследований видно, что древесно-кустарниковые растения – это в основном пентозансодержащее сырье. Учитывая химический состав этого сырья, из него целесообразно получать фурфурол, а остаток после отгонки фурфуrolа (целлолигнин) подвергать дальнейшей переработке. Широкому использованию этого вида сырья препятствуют его рассредоточенность по лесозаготовительным предприятиям и трудности сбора, измельчения, транспортировки и подготовки к химической и биохимической переработке. В то же время отечественной промышленностью и зарубежными производителями выпускаются передвижные рубительные машины, позволяющие получать измельченное сырье в виде щепы непосредственно на лесосеках и осуществлять его транспортировку в автомобилях-щеповозах на перерабатывающие предприятия.

Из отходов сельскохозяйственного производства наибольший интерес представляют стержни кукурузных початков, гречневая и просяная лузга, отходы первичной переработки льна и конопли (костра льна и конопля), солома различных злаковых культур. Отходы сельскохозяйственного производства характеризуются более значительным (в 2–3 раза больше, чем древесина хвойных пород) содержанием пентозанов (до 34,8% у стержней кукурузных початков). Именно количество пентозанов является определяющим при подразделении сырья на пентозансодержащие (древесина лиственных пород и отходы сельскохозяйственного производства) и древесину хвойных пород, что определяет профиль производства и ассортимент получаемой продукции. Широкому использованию отходов сельскохозяйственного производства препятствует большая разбросанность по территории и трудность транспортировки, сезонность заготовки и необходимость вследствие этого хранения больших запасов сырья, которое при этом теряет свои товарные свойства в результате протекающих биохимических процессов, малая насыпная плотность даже для измельченного сырья, что обуславливает необходимость применения оборудования большого объема.

В Республике Беларусь имеются значительные запасы верхового торфа [17], который можно рассматривать как возобновляемый источник сырья [6]. Площадь верховых болот составляет около 155 тыс. га [18].

Групповой состав верхового торфа с низкой степенью разложения, отобранного из различных месторождений Республики Беларусь, приведен в табл. 4.

Таблица 2

Химический состав, % от массы а. с. с., ветвей различных пород древесины

Порода древесины	Целлюлоза	Пентозаны	Уроновые кислоты	Лигнин	Зольные вещества
Береза	43,2	27,4	7,5	22,4	0,4
Дуб	40,2	20,7	6,9	23,2	0,7
Сосна	44,2	16,2	4,8	36,0	0,5

Таблица 3

Химический состав, % от массы а. с. с., коры различных пород

Порода древесины	Целлюлоза	Пентозаны	Зольные вещества	Гексозаны	Уроновые кислоты	Лигнин	Экстрактивные вещества
Сосна	17,6	8,9	1,8	12,8	3,0	38,2	17,4
Ель	19,2	7,2	2,3	8,5	4,8	32,4	28,2
Осина	8,3	11,8	2,7	7,8	3,6	27,2	32,5
Береза	17,4	12,5	2,4	5,1	7,4	24,2	25,2
Ольха белая	8,6	12,8	2,9	4,8	3,8	26,4	27,2

Групповой химический состав, % от массы а. с. торфа,
верхового торфа с низкой степенью разложения различных месторождений Республики Беларусь

Компонент	«Слуцкое»	«Глинка»					«Неманское»	«1 Мая»	«Туршовка»	«Татарка»	«Даумана»	«Витебское»	
Полисахариды	35,4	40,6	47,2	36,0	37,8	39,4	39,2	44,4	40,9	41,0	39,3	39,4	45,9
в том числе	18,2	22,6	25,3	19,6	20,9	22,1	22,3	27,0	22,8	24,2	23,9	22,1	26,1
легкогидролизуемые	17,3	18,0	21,9	16,4	16,9	17,3	16,9	17,4	18,1	16,8	15,4	17,3	19,8
трудногидролизуемые													
РВ после гидролиза полисахаридов													
легкогидролизуемых	20,41	25,44	29,13	22,02	22,57	24,90	25,13	30,43	25,65	27,22	26,92	24,94	30,90
трудногидролизуемых	19,12	20,05	24,3	18,22	18,77	19,40	18,35	19,36	20,04	18,64	17,46	19,43	22,23
Непрогидролизированный остаток	33,9	39,9	30,4	39,7	41,5	40,8	38,6	29,6	33,6	26,9	37,8	40,8	41,9
Общий азот (сырой протеин)	5,41	4,77	4,77	5,60	4,98	5,06	5,13	4,20	6,25	6,00	6,86	4,98	3,53
Зольные элементы	1,8	3,2	4,6	10,0	5,6	4,1	1,1	1,1	2,1	4,5	11,4	4,1	3,2
рН водной вытяжки	3,6	3,4	4,0	4,2	4,3	4,6	4,6	4,6	4,0	4,2	4,3	4,6	4,6

Таблица 5

Содержание экстрактивных и гуминовых веществ в верховом торфе торфопредприятия «Глинка»

Компонент	Содержание, % от массы абсолютно сухого образца
Экстрактивные вещества (битумы)	9,8
Вещества, растворимые в воде при температуре:	
20°C	0,85
50°C	1,68
100°C	3,27
Редуцирующие вещества в фильтратах водорастворимых:	
до инверсии:	
20°C	0,04
50°C	0,16
100°C	0,32
после инверсии:	
20°C	0,11
50°C	0,38
100°C	0,45
Вещества, растворимые в 0,1N растворе NaOH при температуре 100°C	43,22
Гуминовые вещества	9,48

Анализ результатов определения группового состава верхового торфа различных месторождений (табл. 4) показал, что он содержит (% от массы а. с. с.): полисахаридов – 35,4–47,2 (в том числе легкогидролизуемых (ЛГПС) – 18,2–27,0, трудногидролизуемых (ТГПС) – 15,4–21,9); непрогидролизованного остатка – 29,6–41,9; сырого протеина – 3,53–6,25. Значение рН торфа составляет 3,4–4,6. Наибольшее количество полисахаридов содержит верховой торф, отобранный на месторождениях: «Глинка» – 47,2%, в том числе 25,3% ЛГПС и 21,9 ТГПС; «1 Мая» – 44,4%, в том числе 27,0% ЛГПС и 17,4% ТГПС, и «Витебское» – 45,9%, в том числе 26,1% ЛГПС и 19,8% ТГПС.

При этом в образцах торфа месторождений «Глинка» и «1 Мая» содержится меньше по сравнению с другими непрогидролизованного остатка (30,4% «Глинка» и 29,6% «1 Мая»), в то время как образцы месторождения «Витебское» имеют его наибольшее количество (41,9%).

Результаты анализа химического состава верхового торфа свидетельствуют о возможности его использования для биоконверсии. При этом наиболее благоприятным по суммарному содержанию полисахаридов и наименьшему количеству непрогидролизованного остатка является верховой торф месторождений «Глинка» и «1 Мая». В табл. 5 приведены результаты определения в образцах из залежей месторождений «Глинка» других компонентов, имеющих значение для осуществления процесса биоконверсии.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что верховой малоразложившийся торф, прошедший предварительную биологическую обработку в естественных условиях, можно рекомендовать к использованию в качестве субстрата для биоконверсии с целью обогащения белком и использования в качестве углеводно-белковой кормовой добавки.

При получении фурфурола парофазным гидролизом гемицеллюлоз растительного сырья отходом производства является целлолигнин. Полисахаридный состав целлолигнина зависит от состава исходного сырья и условий осуществления парофазного гидролиза гемицеллюлоз при образовании фурфурола. При получении фурфурола парофазным гидролизом древесины березы в оптимальном диапазоне технологических параметров содержание в целлолигнине ЛГПС, согласно экспериментальным данным, составляет 3,5–8,1%, ТГПС – 37,81–46,92% от массы а. с. целлолигнина [19]. Высокое содержание в целлолигнине трудногидролизуемых полисахаридов, преобладающей частью которых является целлюлоза, позволяет рассматривать его в качестве источника сырья для последующей переработки. Применявшиеся ранее фурфурольно-гексозные способы гидролиза сырья предусматривали его последующий пер-

коляционный жидкофазный гидролиз и биохимическую переработку полученного гидролизата для производства кормовых дрожжей.

Однако в настоящее время получение кормовых дрожжей на основе гидролизатов растительного сырья нецелесообразно вследствие высоких энергетических затрат на процесс и образования значительного количества отходов, главным образом в виде гидролизного лигнина. В то же время целлолигнин с практически полностью сохранившимся содержанием целлюлозы можно рассматривать как перспективное сырье для ферментативного гидролиза, поскольку он прошел термокаталитическую обработку в условиях образования фурфурола, а применяемый в гидролизном производстве способ удаления лигнина аналогичен так называемому «паровому взрыву», что исключает необходимость специальной обработки и делает его благоприятным субстратом для культивирования микроорганизмов [19, 20].

Заключение. Таким образом, наличие в Республике Беларусь значительных запасов древесины, верхового торфа с низкой степенью разложения, а также практически не используемых до настоящего времени резервных запасов древесно-кустарниковой растительности, отходов сельскохозяйственного производства и отходов гидролитической переработки растительного сырья при получении фурфурола создают устойчивую сырьевую базу для развития различных отраслей промышленности, в том числе микробиологической.

Литература

1. Огарков, В. М. Биотехнологические направления использования растительного сырья / В. М. Огарков, Ю. И. Кисилев, В. А. Быков // Биотехнология. – 1985. – № 3. – С. 1–15.
2. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2005. – Минск: Мин-во статистики Респ. Беларусь, 2005. – 609 с.
3. Багинский, В. Ф. Основные принципы управления бореальными лесами как динамической экосистемой / В. Ф. Багинский // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Вып. 46: Лесная наука на рубеже XXI века. – Гомель, 1997. – С. 64–73.
4. Зорин, В. Кому и как отдать предпочтение: природе или тому, чего хотят люди? / В. Зорин // Человек и экономика, 1996. – № 12. – С. 3–4.
5. Крот, Г. М. Планирование лесного хозяйства в условиях рыночной экономики / Г. М. Крот // Планирование и принятие решений по управлению лесами в условиях рыночной экономики: Междунар. конф. IUFRO. – Пушкино, 1996.
6. Возобновляемые источники энергии в Республике Беларусь: прогноз, механизмы реа-

лизации / Ермашкевич [и др.]; под общ. ред. В. Н. Ермашкевича. – Минск: Право и экономика, 1997. – 232 с.

7. Матвейко, А. П. Основы рационального и комплексного использования лесных ресурсов Республики Беларусь / А. П. Матвейко // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Вып. 46: Лесная наука на рубеже XXI века. – Гомель, 1997. – С. 61–63.

8. Луницкий, А. В. Биоэнергетика Беларуси: состояние и пути развития / А. В. Луницкий // Лес, наука, молодежь: материалы междунар. науч. конф. молодых ученых, Гомель, 1999. – Т. 1. – С. 248–250.

9. Никитин, Н. И. Химия древесины и целлюлозы / Н. И. Никитин, А. В. Оболенская, П. М. Щеголев. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 368 с.

10. Фенгел, Д. Древесина (химия, ультраструктура, реакции) / Д. Фенгел, Г. Вегенер. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 512 с.

11. Холькин, Ю. И. Технология гидролизных производств / Ю. И. Холькин. – М.: Лесная пром-сть, 1989. – 496 с.

12. Видовое разнообразие растительного и животного мира как фактор устойчивости лесных экосистем / Г. Я. Климчик [и др.] // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Вып. 46: Лесная наука на рубеже XXI века. – Гомель, 1997. – С. 381–383.

13. Морозов, Е. Ф. Производство фурфурола / Е. Ф. Морозов. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 200 с.

14. Оболенская, А. В. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы / А. В. Оболенская, З. П. Ельницкая, А. А. Леонович – М.: Лесная пром-сть, 1991. – 320 с.

15. Емельянова, И. З. Химико-технический контроль гидролизных производств / И. З. Емельянова. – М.: Лесная пром-ть, 1976. – 223 с.

16. Римдейка, А. М. Химическая характеристика древесины ольхи белой и других лиственных пород, произрастающих в Литовской ССР / А. М. Римдейка // Гидролизное производство. – 1980. – № 3. – С. 1–3.

17. Наумова, Г. В. Торф в биотехнологии / Г. В. Наумова. – Минск: Наука и техника, 1987. – 151 с.

18. Природная среда Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск: НООО «БИП-С», 2002. – 423 с.

19. Болтовский, В. С. Прямая биоконверсия древесно-кустарниковой растительности и целлюлозы микроорганизмами / В. С. Болтовский, Т. П. Цедрик, О. В. Остроух // Леса Беларуси и их рациональное использование: материалы междунар. науч.-техн. конф. / БГТУ. – Минск, 2000. – С. 356–359.

20. Остроух, О. В. Обогащение белком лигноцеллюлозных субстратов в процессе прямой биоконверсии микроорганизмами / О. В. Остроух, Т. П. Цедрик, В. С. Болтовский // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. – 2002. – № 2. – С. 94–98.