

УДК 630*863:602.4

В. С. Болтовский

Белорусский государственный технологический университет

ОЦЕНКА СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ДЛЯ ГИДРОЛИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБНОСТИ В ПОЛУЧАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

В данной статье выполнен анализ ресурсов растительного сырья Республики Беларусь, потребности в продукции гидролизного производства на внутреннем и внешнем рынках и дана оценка возможности и целесообразности возобновления их производства в современных условиях. Показано, что запасы возобновляемой растительной биомассы в Республике Беларусь, спрос на продукцию ее гидролитической и микробиологической переработки на мировом рынке обеспечивают в настоящее время перспективы возобновления гидролизного производства.

При этом наиболее перспективно производство гидролизного спирта для применения его в качестве автомобильного топлива и белоксодержащих кормовых добавок для возмещения дефицита кормового белка.

Ключевые слова: растительная биомасса, гидролизное производство, продукция, этиловый спирт, кормовые дрожжи, фурфурол.

V. S. Boltovskiy

Belarusian State Technological University

ASSESSMENT OF THE RAW MATERIAL BASE OF THE REPUBLIC OF BELARUS FOR HYDROLYSIS PRODUCTION AND REQUIREMENTS FOR THE RESULTING PRODUCTS

This article analyzes the resources of plant raw materials of the Republic of Belarus, the need for hydrolysis products in the domestic and foreign markets, and assesses the possibility and feasibility of resuming their production in modern conditions. It is shown that the reserves of renewable plant biomass in the Republic of Belarus, the demand for products of its hydrolytic and microbiological processing on the world market, currently provide prospects for the resumption of hydrolysis production.

At the same time the most promising production of hydrolysis alcohol for use as automobile fuel and protein-containing feed products to compensate for the shortage of feed protein.

Key words: plant biomass, hydrolysis production, products, ethyl alcohol, feed yeast, furfural.

Введение. Одним из несомненных преимуществ гидролизного производства является биотехнологическая (гидролитическая и микробиологическая) переработка постоянно возобновляемого растительного сырья с получением востребованных различными отраслями промышленности и сельского хозяйства видов продукции, основными из которых являются этиловый спирт (в т. ч. топливный биоэтанол), кормовые дрожжи и другие белоксодержащие кормовые продукты и фурфурол [1].

Однако в настоящее время в Республике Беларусь РУП «Речицкий опытно-промышленный гидролизный завод» прекратил свою деятельность, а одно из старейших и передовых предприятий отрасли – ныне ОАО «Бобруйский завод биотехнологий» перепрофилирован.

В то же время во многих развитых странах интенсивно проводятся исследования и создаются предприятия по кислотному и ферментативному гидролизу лигноцеллюлозной растительной биомассы, главным образом для получения топливного биоэтанола [2–5].

Основными предпосылками для возобновления гидролизного и микробиологического производства в Беларуси являются: наличие необходимой сырьевой базы, востребованность, конкурентоспособность и экономическая целесообразность получения на базе современных ресурсо-, энергосберегающих и экологически безопасных технологий и оборудования продукции на внутреннем и внешнем рынках.

В данной статье выполнен анализ ресурсов растительного сырья Республики Беларусь, потребности в продукции гидролизного производства и приведена оценка возможности и целесообразности возобновления их производства в современных условиях.

Основная часть. Одним из важнейших факторов, определяющих профиль, ассортимент выпускаемой продукции и мощность производства, является *сырьевая база*.

Основным возобновляемым ресурсом растительной биомассы в Республике Беларусь являются *лесные насаждения*. По данным на 01.01.2019 [6], общая площадь земель лесного

фонда Беларуси составила 9582,5 тыс. га, лесистость территории – 39,8%, общий запас древесины на корню – 1796,0 млн м³. При этом по данным Министерства лесного хозяйства [7], наблюдаются увеличение среднего возраста насаждений с 44 до 56 лет, общей площади лесного фонда и устойчивый рост площадей припевающих, спелых и перестойных насаждений (например, за последние двадцать лет площадь спелых и перестойных древостоев, представляющих интерес для промышленной переработки, значительно увеличилась и составила 14,7% от общей площади лесов).

Среди древесных ресурсов республики преобладает древесина хвойных пород (66,2%, преимущественно сосна – 49,7%), запасы лиственной древесины составляют 33,7% (с преобладанием мягколиственных пород – 30,3%, наиболее распространены из которых являются ольха серая, тополь и ива древовидная с запасом 21,99 млн м³) [6].

По суммарному содержанию углеводов (64–66%) древесина хвойных и лиственных пород примерно равноценна. Но для древесины хвойных пород характерно более высокое содержание пентозанов (главным образом целлюлозы, например, в древесине сосны и ели – 44,1–46,1%) по сравнению с лиственной (35,4–41,8% в древесине березы и осины), при гидролизе которых образуются гексозные моносахариды, сбрасываемые традиционно применяемыми культурами микроорганизмов в этанол. Это обуславливает преимущественное применение хвойной древесины для получения этилового спирта. В древесине лиственных пород более высокое содержание пентозанов (16,3–22,1%) по сравнению с хвойными (5,1–6,0%) [8]. Ее, как и растительные отходы сельскохозяйственного производства, целесообразно использовать для получения белоксодержащих кормовых добавок и фурфурола.

При этом необходимо отметить, что в гидролизном производстве используется древесина в виде отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки. Однако в настоящее время деревообрабатывающие предприятия сами стали перерабатывать отходы лесопиления и деревообработки при производстве целевой продукции и в качестве топлива (для сжигания в котельных или получения топливных гранул, так называемых пеллет).

Лесосечные отходы, образующиеся при лесозаготовках, характеризуются трудностью сбора и транспортировки, низким качеством, а при заготовке хвойной древесины (которая преимущественно необходима для получения этилового спирта) – значительным количеством хвои, что требует ее отделения и существенно

усложняет возможность использования. Кроме того, в настоящее время лесосечные отходы, как и дровяная и тонкомерная древесина, используются для получения пеллет. Эти причины не позволяют рассматривать данное сырье в качестве крупномасштабного источника для гидролизного производства.

Кустарники, запасы которых в нашей республике составляют 676 тыс. м³ [6], можно использовать для производства фурфурола паровым гидролизом с последующей переработкой оставшегося целлюлозного остатка для получения растительно-углеводных кормовых добавок [9], но также необходимо учитывать трудности их заготовки и затраты на транспортировку.

Одним из наиболее перспективных направлений расширения сырьевой базы для удовлетворения возрастающего спроса различными отраслями промышленности (особенно целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей, биотехнологической и для использования в энергетических целях) является организация культурных плантаций быстрорастущих пород деревьев (тополь, ольха).

Потенциальными для гидролизного производства сырьевыми ресурсами являются также растительные отходы сельскохозяйственного производства и верховой торф с малой степенью разложения.

Из растительных отходов сельскохозяйственного производства к наиболее крупнотоннажным относится *солома* зерновых и масличных культур. По данным [10], количество соломы в 2007 г. составило 7,617 млн т при валовом сборе всех видов зерна 6,897 млн т (в 2011 г. около 9 млн т) и в перспективе с его возрастанием можно ожидать годовое количество соломы 11,0–18,5 млн т в год. При этом в настоящее время на традиционные методы использования соломы в сельском хозяйстве (подстилку для скота, силосование, буртование, добавление в корм и запахивание) расходуется примерно 3,5 млн т, остальное количество можно использовать для промышленной переработки различными способами.

Помимо соломы в качестве пентозансодержащего растительного сырья могут быть использованы кофре льна и конопли, гречневая шелуха, стебли и стержни кукурузных початков и т. п.

При использовании растительных отходов сельскохозяйственного производства следует учитывать сезонность заготовки, потери и коэффициент доступности.

Для эффективного использования растительного сырья необходимы рациональное использование и глубокая переработка его основных компонентов.

Торф является медленно возобновляемым природным ресурсом, запасы которого в Республике Беларусь достаточно велики. Но для гидролитической и микробиологической переработки представляет интерес торф с низкой степенью разложения, содержание полисахаридов в котором незначительно отличается от растительного сырья. Промышленные запасы сфагнового торфа со степенью разложения до 22% (который вследствие недостаточно высокой теплотворной способности не целесообразно использовать в качестве топлива) в республике составляют 200 млн т в пересчете на 40%-ную влажность [11].

Основные виды продукции гидролизного производства, потребность, возможности замещения альтернативными продуктами.

В Республике Беларусь, как и других странах с неблагоприятными климатическими и агротехническими условиями, актуальной является проблема получения качественных кормов для сельскохозяйственных животных и птиц и восполнения дефицита *кормового белка*.

Частично потребность в белоксодержащих кормовых добавках может быть обеспечена, например, за счет использования концентрата или сухой послеспиртовой барды (ПСБ), а также шрота и жмыха масличных культур и других белоксодержащих отходов различных отраслей промышленности (меласса, сухой жом, картофельная, яблочная или овощная мезга и др.).

В Беларуси при производстве спирта образуется более 1 млн т *послеспиртовой барды* (основного отхода при производстве спирта) в год [12].

Высокое содержание органических веществ в картофельной и зерновой ПСБ – сухих веществ – 3,2–4,1 и 6,7–8,0% соответственно, в которых содержание сырого протеина составляет 18,7–19,5 и 26,8–27,5%, и наличие других питательных веществ обуславливают перспективность ее применения в качестве белоксодержащих кормовых добавок [13].

В Республике Беларусь ПСБ в настоящее время перерабатывается, например, на Березинском спиртзаводе и ОАО «Бобруйский завод биотехнологий». Так, на ОАО «Бобруйский завод биотехнологий» реализованы следующие технологии переработки ПСБ:

– зерновая ПСБ – остаток после получения этилового спирта из пищевого сырья, подвергается концентрированию и сушке с получением белоксодержащей кормовой добавки (по технологии, разработанной в рамках программы Союзного государства России и Беларуси в НПЦ по продовольствию НАН Беларуси;

– мелассная ПСБ, образующаяся после получения технического этилового спирта из мелассы (отхода свеклосахарного производства),

перерабатывается в анаэробных биореакторах (модернизированных ферментаторах для производства кормовых дрожжей силами РМЦ завода по разработкам УКРНИИСП) с получением биогаза.

Пивная дробина, являющаяся основным отходом пивоваренного производства, образуется в пивоваренной отрасли Республики Беларусь в количестве более 70 тыс. т в год. Она содержит 20–25% сухого вещества, 25% сырого протеина и 17,7% клетчатки [13, 14]. Однако применение сырой дробины в качестве кормовой добавки нарушает сбалансированность питания и приводит к неполной усвояемости скотом отдельных ингредиентов. Поэтому необходимы ее предварительное упаривание и сушка.

Одним из источников растительного белка в кормопроизводстве являются жмыхи и шроты – остатки после получения растительных масел прессованием и экстракцией органическими растворителями. В Республике Беларусь главной масличной культурой является рапс, поэтому основным видом жмыхов является рапсовый (в 2016 г. – 77%). Рапсовые жмыхи и шроты по кормовым достоинствам не уступают овсу, хорошо сбалансированы по аминокислотному составу и имеют достаточно высокое содержание белка. Однако количество получаемых жмыхов и шротов в разные годы может существенно отличаться вследствие неурожаев рапса. Кроме того, в меньших количествах образуются: соевый жмых (содержащий наибольшее количество белка – до 44%), подсолнечный и льняной жмыхи. Например, в 2016–2017 гг. в Беларуси было произведено 214 тыс. т жмыхов, из которых в наибольшем количестве рапсовый (165 тыс. т), меньше соевый (36 тыс. т) и подсолнечный (13 тыс. т) [15].

Основными недостатками жмыхов и шротов является более низкая перевариваемость растительного белка по сравнению с микробным и отсутствие некоторых незаменимых аминокислот, а для жмыхов – повышенное содержание жиров.

Производство растительного белка существенно зависит от климатических и агротехнических условий, требует значительных посевных площадей, отличается сезонным характером и не обеспечивает их потребность в кормопроизводстве.

Дефицит растительного белка в республике ежегодно составляет 300 тыс. т. Недостаток в зернофураже перевариваемого протеина приводит к перерасходу по стране около 1 млн т фуражного зерна [16].

Отмечено [13], что в Республике Беларусь имеются трудности с обеспечением полноценности кормов для сельскохозяйственных животных и птиц из-за дефицита важнейших биологически активных веществ, а выпускаемые отечественной

промышленностью корма не соответствуют по качеству и питательной ценности современным возрастающим требованиям и не конкурентоспособны с аналогичной мировой продукцией.

Использование перечисленных и других вторичных кормовых ресурсов кардинально не решает проблем.

Одним из наиболее перспективных способов получения кормового и пищевого белков в настоящее время является микробный синтез [17], обеспечивающий его многотоннажное производство на небольших производственных площадях с использованием сравнительно дешевого и доступного растительного сырья в виде отходов, значительно более высокую скорость роста по сравнению с растительным и получение белка, сбалансированного по аминокислотному составу и другим питательным веществам.

Однако при решении вопроса о возобновлении биотехнологического производства кормовых дрожжей или других белоксодержащих кормовых продуктов необходима разработка более эффективной и менее энергоемкой технологии их получения.

Наиболее востребованным в настоящее время в различных отраслях промышленности, особенно в качестве автомобильного топлива в виде добавки к бензину или в чистом виде, может стать гидролизный *этиловый спирт*.

Биоэтанол широко применяется в этом качестве в США, Бразилии, Китае. Мировое потребление топливного этанола в 2009 г. составило 74 млрд л (58,65 млн т). Мировое замещение этанолом оценивается более 1 млн баррелей нефтяного спроса в день. В Европе уже действует стандарт, предусматривающий применение бензина с добавкой 5% этанола и рассматривается возможность повышения его содержания до 10%. В Бразилии в качестве автомобильного топлива применяется чистый этанол [18] (но в этом случае требуется модификация двигателей).

Для Республики Беларусь, не обладающей значительными запасами углеводородного сырья и испытывающей дефицит в автомобильном бензине, производством биоэтанола имеет особенно важное значение и актуальность.

В Европе в связи с угрозой продовольственной безопасности наметилась тенденция перехода от использования для получения топливного этанола пищевых видов сырья (зерна и сахарной свеклы) к лигноцеллюлозному растительному сырью (древесине и отходам сельскохозяйственного производства, например, соломы зерновых культур).

Кроме того, в перспективе биоэтанол может быть использован (помимо известных способов его применения) в качестве субстрата при получении пищевого белка микробным синтезом.

В Беларуси имеется многолетний опыт гидролитической и микробиологической переработки древесины в этанол и предприятие (ОАО «Бобруйский завод биотехнологий»), на котором есть необходимая материально-техническая база и возможна организация его производства, но, безусловно, с использованием более современных технологий и оборудования.

Однако в республике основное внимание в настоящее время сосредоточено на получении биодезеля из рапсового масла [19].

Фурфурол в промышленных условиях получают исключительно из возобновляемого пентозансодержащего растительного сырья. Он широко применяется для получения различных производных фурфурола (фурфурилового и тетрагидрофурфурилового спиртов, фурана, тетрагидрофурана и др.), фурфурольно-карбамидных и фурфурольно-ацетоновых смол и высококачественных лаков, лекарственных средств, гербицидов, инсектицидов и многих других продуктов, в качестве селективного растворителя в химической и нефтехимической промышленности (например, для очистки смазочных масел и смол, выделения 1,3-бутадиена и газов крекинга нефти и т. д. [20]).

Потребность в фурфуроле в мире превышает его производство. Так, ежегодная потребность в фурфуроле в Европе составляет около 110 тыс. т при объеме производства около 7 тыс. т. Основное количество (90%) удовлетворяется за счет импорта из Китая, Доминиканской Республики и Южной Африки [21].

В Республике Беларусь фурфурол в настоящее время не востребован и может быть реализован только на экспорт, например в Европу, но при этом необходимо его крупнотоннажное производство для конкуренции со значительно более масштабным количеством из других стран, в т. ч. Китая. Основным сырьем для получения фурфурола 1-го сорта, распространенным в Беларуси, является древесина лиственных пород, отходы после переработки которой сравнительно невелики и используются главным образом по другому назначению, а также стержни кукурузных початков, костра льна, лузга гречихи, ячменя, овса и другие растительные отходы сельскохозяйственного производства, проблемы применения которых отмечены выше. В то же время для его получения возможно использование древесно-кустарниковой растительности [9], запасы которой (676 тыс. м³) [6] достаточны для получения фурфурола в количестве, необходимом для коммерческой реализации (даже при его выходе из 1 т неокоренного древесно-кустарникового сырья 7–8% [9]).

Анализ сырьевой базы Республики Беларусь для гидролиза растительного сырья в виде отходов

деревопереработки и сельского хозяйства и потребности в основных видах выпускаемой продукции свидетельствует о том, что наиболее перспективным и целесообразным в настоящее время является организация производства этилового спирта микробиологической переработкой гидролизатов растительного сырья и белоксодержащих кормовых дрожжей. При этом дополнительно может быть получена белоксодержащая кормовая добавка на основе ПСБ (при производстве 1000 дал этилового спирта образуется 135–150 м³ ПСБ). Это может быть осуществлено на ОАО «Бобруйский завод биотехнологий», ранее выпускавшем эти виды продукции после соответствующей модернизации и применения современных оборудования и технологий.

Солома сельскохозяйственных культур может подвергаться прямой микробиологической конверсии микроорганизмами (например, мицелиальными грибами) с целью обогащения белком и повышения перевариваемости и получения растительной углеводно-белковой кормовой добавки.

Однако для принятия решения о целесообразности возобновления гидролизного производства в Республике Беларусь необходимы государственная поддержка и согласованная стратегия по рациональному распределению основных видов растительного сырья и отходов его переработки между главными отраслями промышленности, а также экономически обоснованная оценка производства и востребованности основных видов продукции.

Заключение. Таким образом, запасы возобновляемой растительной биомассы в Республике Беларусь, спрос на продукцию ее гидролитической и микробиологической переработки на мировом рынке обеспечивают в настоящее время перспективы возобновления гидролизного производства.

При этом наиболее перспективно производство гидролизного спирта для применения его в качестве автомобильного топлива и белоксодержащих кормовых продуктов для возмещения дефицита кормового белка, но для этого необходимы тщательное технико-экономическое обоснование и поддержка на государственном уровне.

Список литературы

1. Болтовский В. С. Актуальные проблемы гидролизного производства и пути их решения // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2017. № 2. С. 233–240.
2. Глубокая переработка биомассы и отходов сельскохозяйственного производства: науч. аналит. обзор / В. С. Тихонравов [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 250 с.
3. Болтовский В. С. Перспективы производства этилового спирта гидролитической и микробиологической переработкой растительной биомассы // Материалы. Технологии. Инструменты. 2014. Т. 19, № 2. С. 68–73.
4. Болотникова О. И., Михайлова Н. П., Гинак А. И. Кислотный и энзиматический гидролиз непищевых источников растительной биомассы: перспективы промышленной реализации // Известия СПбГТИ (ТУ). Сер. 1, Химия и химическая технология. Органический синтез и биотехнология. 2017. № 39. С. 89–95.
5. Григорьев О. Н., Харина М. В. Кислотный гидролиз лигноцеллюлозного сырья в технологии получения биоэтанола // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 10. С. 128–132.
6. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2019 // РУП «Белгослес». Минск. URL: <https://www/belgosles.by/cadastr/SFC-1.01.2019> (дата обращения: 20.02.2020).
7. Лесной фонд // Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. URL: <https://www/mlh.by/our-main-activities/forestry/forest/> (дата обращения: 13.09.2019).
8. Холькин Ю. И. Технология гидролизных производств. М.: Лесная пром-сть, 1989. 496 с.
9. Перспективы использования древесно-кустарникового сырья в гидролизном производстве / Т. П. Цедрик [и др.] // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и химическая технология. 1998. Вып. VI. С. 107–110.
10. Головач А. А. Использование соломы для сохранения и повышения плодородия почв // Белорусское сельское хозяйство. 2009. № 7 (87). URL: <https://www.agriculture.by> (дата обращения: 20.09.2013).
11. Томсон А. Э., Наумова Г. В. Торф и продукты его переработки. Минск: Бел. наука, 2009. 328 с.
12. О научно-технической программе Союзного государства «Повышение эффективности пищевых производств за счет переработки их отходов на основе прогрессивных технологий и техники» (2010–2012 годы): постановление Совета Министров Союзного государства № 6 // Постоянный Комитет Союзного государства. URL: <https://www.postkomsg.com/documentation> (дата обращения: 21.01.2020).

13. Лапотко А. М., Зиновенко А. Л. Производству комбикормов – новые ориентиры // Белорусское сельское хозяйство. 2008. № 11 (79). С. 27–31.
14. Лапотко А. М., Зиновенко А. Л. Производству комбикормов – новые ориентиры (окончание) // Белорусское сельское хозяйство. 2008. № 12 (80). С. 8–12.
15. Обзор масложировой отрасли государств – членов Евразийского экономического союза. Масложировая Ассоциация ААЭС, Департамент агропромышленной политики Евразийской экономической комиссии. Москва, 2017. URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_agroprom/sensitive_products/pdf (дата обращения: 21.01.2020).
16. Проблема белка и роль селекции бобовых культур в ее решении / Г. И. Тарануха [и др.]. Весті НАН Беларусі. Сер. аграрных навук. 2015. № 3. С. 79–84.
17. Лобанок А. Г. Микробиологический синтез белка на целлюлозе. Минск: Наука и техника, 1976. 139 с.
18. Мирзоев В., Пущик Е. Бензин и этанол – мировые перспективы. Способы получения, стандарты, обзор мирового рынка и производителей топлива // Проблемы местного самоуправления. М., 2010. № 40. URL: <http://www.samoupravlenie.ru/40-10.php> (дата обращения: 07.10.2015).
19. Оценка экологического, социального и экономического воздействия производства биологического топлива в Республике Беларусь. Программа ООН по охране окружающей среды. ЮНЕП, 2012. URL: http://old.greenlogic.by/content/files/UNEP/Biofuel_report_Belarus_final_Rus.pdf. (дата обращения: 11.02.2020).
20. Eseiyn A. E., Steete P. H. An overview of the applications of furfural and its derivatives // Journal of Advanced Chemistry, 2015. No. 3 (2). P. 42–47.
21. Будем производить заменитель нефти? // «Бизнес & Балтия», 2010. №. 18 (3864). URL: <http://arhiv.bb.lv/index.php?p=1&i=4490&s=1&a=163572&v=print> (дата обращения: 15.02.2017).

References

1. Boltovskiy V. S. Actual problems of hydrolysis production and solutions. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 2, Chemical engineering, biotechnologies, geoecology, 2017, no. 2, pp. 233–240 (In Russian).
2. Tikhonravov V. S., Fedorenko V. F., Buklagin D. S., Mishurov N. P. *Glubokaya pererabotka biomassy i otkhodov sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva. Nauchnyy analiticheskiy obzor* [Deep processing of biomass and agricultural waste. Scientific analytical review]. Moscow, FGBNU “Rosinformagrotekh” Publ., 2014. 250 p.
3. Boltovskiy V. S. Prospects for the production of ethyl alcohol by hydrolytic and microbiological processing of plant biomass. *Materialy. Tekhnologii. Instrumenty* [Materials Technology. Instruments], 2014, vol. 19, no. 2, pp. 68–73 (In Russian).
4. Bolotnikova O. I., Mikhaylova N. P., Ginak A. I. Acid and enzymatic hydrolysis of non-food sources of plant biomass: prospects for industrial implementation. *Izvestiya SPbGTI(TU)* [Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)], series 1, Chemistry and chemical technology. Organic synthesis and biotechnology, 2017, no. 39, pp. 89–95 (In Russian).
5. Grigor'ev O. N., Kharina M. V. Acid hydrolysis of lignocellulosic raw materials in bioethanol production technology. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2016, vol. 19, no. 10, pp. 128–132 (In Russian).
6. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 01.01.2019* [The State Forest Cadastre of the Republic of Belarus as of January 1, 2019]. Available at: <https://www/belgosles.by/cadastr/SFC-1.01.2019> (accessed 20.02.2020).
7. *Lesnoy fond. Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus'* [Forest Fund. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus]. Available at: <https://www/mlh.by/our-main-activities/forestry/forest> (accessed 13.09.2019).
8. Khol'kin Yu. I. *Tekhnologiya gidroliznykh proizvodstv* [Hydrolysis Production Technology]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Pybl., 1989. 496 p.
9. Tsedrik T. P., Boltovskiy V. S., Fedorova O. I., Savinykh E. S. Prospects for the use of wood-shrub raw materials in hydrolysis production. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 3, Chemistry and Chemical Technology, 1998, issue VI, pp. 26–30 (In Russian).
10. Golovach A. A. Using straw to maintain and increase soil fertility. *Belorusskoye sel'skoye khozyaystvo*, 2009, no. 7 (87) (In Russian). Available at: <https://www.agriculture.by> (accessed 20.09.2013).
11. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and its processed products]. Minsk, Belorusskaya Nauka Publ., 2009. 328 p.

12. *Postanovleniye Soveta Ministrov Soyuznogo gosudarstva № 6 "O nauchno-tekhnicheskoy programme Soyuznogo gosudarstva "Povycheniye effektivnosti pishchevykh proizvodstv za schet pererabotki ikh otkhodov na osnove progressivnykh tekhnologiy i tekhniki" (2010–2012 gody)* [Decree of the Council of Ministers of the Union State No. 6 "On the scientific and technical program of the Union State "Improving the efficiency of food production through the processing of their waste based on advanced technologies and equipment" (2010–2012)]. Available at: <https://www.postkomsg.com/documentation> (accessed 21.01.2020).

13. Lapotko A. M., Zinovenko A. L. Compound feed production – new benchmarks. *Belorusskoye sel'skoye khozyaystvo* [Belarusian agriculture], 2008, no. 11 (79), pp. 27–31 (In Russian).

14. Lapotko A. M., Zinovenko A. L. Compound feed production – new benchmarks (continuation). *Belorusskoye sel'skoye khozyaystvo* [Belarusian agriculture], 2008, no. 12 (80), pp. 8–12 (In Russian).

15. *Obzor maslozhirovoy otrasli gosudarstv – chlenov Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza, Maslozhirovaya Assotsiatsiya AAES, Departament agropromyshlennoy politiki Evraziyskoy ekonomicheskoy komissii* [Review of the oil and fat industry of the member states of the Eurasian Economic Union The ANPP Maslozira Association, Department of Agro-Industrial Policy of the Eurasian Economic Commission]. Available at: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_agroprom/sensitive_products/pdf (accessed 21.01.2020).

16. Taranukho G. I., Ravko E. V., Taranukho V. G., Bushueva V. I., Taranukho N. G., Vitko G. I. The protein problem and the role of legume breeding in its solution. *Vesti Natsiyanal'nay akademii nauk Belarusi* [Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus], series of Agricultural sciences, 2015, no. 3, pp. 79–84 (In Russian).

17. Lobanok A. G. *Mikrobiologicheskiy sintez belka na tsellyuloze* [Microbiological protein synthesis on cellulose]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. 139 p.

18. Mirzoev V., Puschik E. Gasoline and ethanol – world Methods of obtaining, standards, review of the world market and fuel producers. *Problemy mestnogo samoupravleniya*, 2010, no. 40. (In Russian). Available at: <http://www.samoupravlenie/ru/40-10.php> (accessed 07.10.2015).

19. *Otsenka ekologicheskogo, sotsial'nogo i ekonomicheskogo vozdeystviya proizvodstva biologicheskogo topliva v Respublike Belarus'. Programma OON po okhrane okruzhayushchey sredy* [Assessment of the environmental, social and economic impact of biofuel production in the Republic of Belarus. United Nations Environment Program]. UNEP, 2012. Available at: http://old.greenlogic.by/content/files/UNEP/Biofuel_report_Belarus_final_Rus.pdf (accessed 11.02.2020).

20. Eseiyn A. E., Steete P. H. An overview of the applications of furfural and its derivatives. *Jornal of Advanctd Chemistry*, 2015, no. 3 (2), pp. 42–47.

21. Will produce a substitute for oil? "*Biznes & Baltiya*", 2010, no. 18 (3864) (In Russian). Available at: <http://arhiv.bb.lv/index.php?p=1&i=4490&s=1&a=163572&v=print> (accessed 15.02.2017).

Информация об авторе

Болтовский Валерий Станиславович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v-boltovsky@rambler.ru

Information about the author

Boltovskiy Valeriy Stanislavovich – DSc (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v-boltovsky@rambler.ru

Поступила 30.03.2020