

ОСОБЕННОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ ОБЫКНОВЕННОГО ТРОСТНИКА С ПОЛУЧЕНИЕМ ЦЕННЫХ ПРОДУКТОВ

О. П. Мансуров, А. Ф. Кемалов, Р. А. Кемалов

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия

Ключевые слова: биоэтанол; гидролиз; натрий гидроксид; обыкновенный тростник; предварительная обработка; ферментация.

Аннотация: Биоконверсия отходов тростника обыкновенного на стадии сбраживания сахара в производстве биоэтанола является актуальной и динамично развивающейся темой исследования. Изучены два типа физико-химической предварительной обработки отходов тростника обыкновенного – щелочью и кислотой. Выявлено улучшение предварительной обработки кислотой по сравнению со щелочной обработкой, увеличивающей скорость ферментативного гидролиза и, как следствие, производство этанола.

После предварительной обработки в автоклаве 6%-й кислотой отмечено высокое содержание общего редуцирующего сахара (25,4 г/л). Ферментация гидролизатов сырья с помощью ферментного препарата ЦеллоЛюкс-Ф способствует выходу биоэтанола в количестве 16,5 г/л. Показано, что используемая биомасса, в частности отходы тростника обыкновенного, может быть использована для производства биоэтанола.

Введение

В настоящее время промышленно развитые страны уделяют большое внимание проблеме парникового эффекта. Роль биоэтанола как технического продукта в мировой экономике постоянно растет, так как он может быть использован не только в качестве альтернативного экологически чистого вида топлива или добавки к нему, но и как универсальный раство-

Мансуров Олим Пардабоевич – аспирант кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов; Кемалов Алим Фейзрахманович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии нефти, газа и углеродных материалов, e-mail: alim.kemalov@mail.ru; Кемалов Руслан Алимович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия.

ритель и прекурсор для синтеза широкой номенклатуры химических веществ. Биотехнологическое превращение лигноцеллюлозосодержащего сырья (ЛЦС) в биоэтанол полностью соответствует принципам циркулярной экономики и отвечает концепции опережающего развития, поэтому спрос на биоэтанол из данного вида сырья устойчиво растет. Среди всего многообразия ЛЦС особое значение приобретают агропромышленные отходы [1]. Они не представляют пищевой ценности, но конкурируют с пищевым производством, так как их превращение в продукты с высокой добавленной стоимостью имеет важное экономическое и экологическое значение.

Традиционное использование биомассы неэффективно с точки зрения затрат энергии и вредно для окружающей среды и здоровья населения, поскольку приводит к самой высокой доле выбросов CO_2 в жилом секторе (31 % от общего объема выбросов CO_2 во всех секторах в 2020 году) [2]. Биомасса может создавать дополнительное загрязнение окружающей среды в некоторых регионах с интенсивной сельскохозяйственной деятельностью. Рассмотрим данную проблему на примере Республики Узбекистан. Если некоммерческая биомасса будет преобразована в биоэтанол, данная республика не только сократит импорт бензина, устранив выбросы CO_2 в жилом и транспортном секторах, но также решит проблему загрязнения окружающей среды в сельских районах и увеличит доходы.

На сегодняшний день технологии производства лигноцеллюлозного этанола еще не готовы к промышленному производству [3]. Основные проблемы заключаются в следующем: чтобы повысить выход этанола необходимо снизить потребление энергии и стоимость ферментов. Кроме того, большие капиталовложения и стоимость поставляемой биомассы затрудняют конкуренцию с бензином и другими традиционными затратами на биоэтанол. Однако недавние улучшения в разработке технологий и продолжающиеся исследования по преодолению технологических проблем позволяют надеяться, что в ближайшем будущем лигноцеллюлозный этанол будет широко производиться в развивающихся странах, обладающих поставками биомассы [4].

Этанол из биомассы становится все более популярной альтернативой бензину в качестве одного из вариантов снижения зависимости от нефти и смягчения возможностей глобального потепления [5].

Помимо глобальных экологических задач, существуют локальные задачи, требующие немедленного разрешения. В Узбекистане такой проблемой, особенно для больших городов, стали отработанные газы двигателей автомашин. В Ташкенте, по данным экологической статистики, их доля достигает 80 % от общих выбросов парниковых газов [6].

Считается, что отходы тростника обыкновенного являются воспроизводимым источником энергии с низкой концентрацией парниковых газов. Углекислый газ, выделяющийся в атмосферу после его сжигания, балансируется с диоксидом углерода, фиксируемым в процессе фотосинтеза в период роста растений [8]. Неизменные пропорции лигноцеллюлозной матрицы можно обнаружить в виде сельскохозяйственных и агропромышленных отходов, которые могут быть эффективно использованы в процессе биоочистки ЛЦС [9].

Между тем не каждый вид ЛЦС может быть обработан одним и тем же способом в одних и тех же условиях. Методы и условия предварительной обработки различаются в зависимости от вида применяемой биомассы [10].

В частности, предварительная обработка паровым взрывом сельскохозяйственных отходов, таких как кукурузный стовер и рисовая солома, была изучена, протестирована, и ее результаты показали, что для получения высоких полисахаридов из биомассы обязательна дополнительная стадия кислотного гидролиза. Необходимо провести дополнительные исследования для определения первичной фазы стратегии эффективной обработки [11].

Химический состав отходов тростника обыкновенного в пересчете на сухой остаток: целлюлоза – 44,5 %, пентозы – 28,2 %, лигнин – 20,6 %, зола – 6,7 % [12, 13]. Тростник имеет несколько привлекательных характеристик. Ежегодно перерабатывается 538 000 тонн тростника обыкновенного, из которого примерно 20 % направляется в качестве целевой кормовой массы, а оставшаяся часть в количестве 448 000 тонн представляет собой отход тростника обыкновенного, используемого в качестве исходного сырья в производстве биоэтанола [10, 12].

Цель работы – сравнение методов предварительной обработки отходов тростника обыкновенного щелочью и кислотой и извлечение из него трех основных компонентов ЛЦС (целлюлозы, лигнина и гемицеллюлозы) в максимально чистой форме. После разделения и очистки данные компоненты могут применяться для производства биоэтанола, присадок, нанокристаллической целлюлозы и наполнителя битума, полученного из лигнина. Отметим, что в Северной Европе и Америке использование тростника обыкновенного в качестве энергетической культуры для производства электроэнергии и тепла, а также для производства биоэтанола вызвало большой интерес [4].

Экспериментальная часть

Проведен анализ физико-химического состава и производства целлюлозного биоэтанола из отходов тростника обыкновенного путем ферментативного гидролиза и микробной ферментации. В качестве исходного сырья использованы отходы тростника обыкновенного, взятые из прибрежной зоны озера Айдаркуль в Джизакской области Узбекистана. Собранные растения промывали водой и высушивали до содержания влаги в пределах 5 – 10 масс. %. Процесс сушки проводили на солнце в течение 5 дней. Высушенный образец отхода тростника обыкновенного переработали в мелкодисперсный порошок с размером частиц менее 3 мм в измельчительном аппарате. Измельченный материал использовали в качестве исходного сырья для получения биоэтанола.

Материал разделили приблизительно на две равные части, которые предназначались для экспериментальных исследований, включающих сравнение выхода этанола из биомассы без и с предварительной подготовкой.

Биомасса растений подбиралась с учетом того, что она может быть применена в качестве одного из лучших кандидатов на производство биоэтанола [10]. Твердый остаток после первоначальной обработки использовался для ферментативного гидролиза.

В ходе работы биомассу обрабатывали химикатами – кислотами и щелочами в разных концентрациях. При этом концентрация химических веществ была тщательно протестирована. Все эксперименты провели в идентичных условиях. После обработки биомассу фильтровали с использованием муслиновой ткани и неоднократно промывали дистиллированной водой до достижения нейтрального значения pH.

Остаток биомассы сушили в течение суток в печи при температуре 50 °С, затем проводили ферментативный гидролиз. Фильтрат анализировали на содержание общего редуцирующего сахара, вырабатываемого во время предварительной обработки. В этой части исследования физические и химические методы первоначальной обработки применялись одновременно. Давление в автоклаве сбрасывали в максимально короткое время после предварительной обработки.

Были разработаны различные способы предварительной обработки, для усиления ферментативного гидролиза и получения большего количества сбраживаемого сахара.

Кислота + автоклавирование. Биомассу выдержали под воздействием разбавленной серной кислоты в концентрациях 4, 6, 8 %, при 121 °С, в течение 20 минут в колбе Эрленмейера объемом 250 мл.

Щелочь + автоклавирование. Биомассу содержали под воздействием гидроксида натрия, концентрации которого и условия предварительной обработки были такими же, как и при применении серной кислоты.

Изначально обработанную биомассу применяли в качестве углеводного субстрата для ферментативного гидролиза. Коммерчески доступная целлюлаза из ЦеллоЛюкс-Ф применялась для ферментативного осахаривания. Обработанную биомассу (10 г) при pH 4,7 выдержали под воздействием автоклавирования при 130 °С на протяжении 20 мин. Фермент погружали в образец после того, как он охладился. Время реакции определили по истечению 1, 2, 3 дней. Реакцию приостанавливали, погружая колбу с образцом в кипящую воду на 5 минут. Смесь фильтровали и измеряли концентрацию глюкозы.

Колбу объемом 1 л, имеющую обработанный образец биомассы, гидролизованный ферментом, 5 г дрожжевого экстракта и *S. cerevisiae*, инокулировали. Значение pH удерживали на уровне 6,0, а ферментацию проводили при 35 °С, 75 об/мин, 72 ч. После 72 ч насадочные жидкости собирали и анализировали для оценки этанола. В качестве контрольного образца выбран экспериментально полученный образец, обработанный 6%-м раствором серной кислоты, так как при такой концентрации был получен наивысший выход общего сбраживаемого сахара (ОСС) и более равномерное протекание реакции.

Затем проводились расчеты в стоимостной форме для исчисления размера вреда, причиненного почвам, как объекту окружающей среды.

Результаты и обсуждение

Химические и физические методы предварительной обработки применялись одновременно. Биомассу обрабатывали разбавленной кислотой (H_2SO_4) и щелочью (NaOH) различной концентрации и выдерживали под воздействием автоклавирования. Общее количество ОСС измеряли по сахару, выработанному в период предварительной обработки и в результате гидролиза.

Максимальный ОСС (60,5 г/100 г биомассы) выявлен в условиях предварительной обработки 6%-й кислотой + автоклавная обработка (табл. 1). Минимальный ОСС (44,8 г/100 г биомассы) получен при 6 % щелочи + автоклавирование.

Некоторые сахара (глюкоза, ксилоза и арабиноза), выделившиеся в ходе процесса предварительной обработки, рассчитывали методом ВЭЖХ. Максимальная концентрация глюкозы, г/л, вырабатываемой в условиях предварительной обработки 6%-й кислотой + автоклав, составила 1,62 г/л. Минимум выявлен в условиях опыта с 4%-й щелочью + автоклав 1,12 г/л (рис. 1).

Пентозные сахара, такие как ксилоза и арабиноза, также получались во время технологии предварительной обработки, и их значения были высоки по сравнению с глюкозой. Ферментативное осахаривание происходило в различных условиях предварительной обработки с использованием ферментного препарата ЦеллоЛюкс-Ф. Выявлен процесс осахаривания и установлено, что условия предварительной обработки в 6%-й кислоте + автоклавирование демонстрирует максимальный выход. При всех рассматриваемых условиях предварительной обработки биомасса, обработанная кислотой, показала более высокое осахаривание, чем биомасса, обработанная щелочью. Наиболее высокая скорость ферментативного гидролиза выявлена при условии предварительной обработки 6%-й кислотой + автоклавирование. По прошествии времени скорость ферментативного гидролиза постепенно понижалась (см. табл. 1).

Протестировано производство биоэтанола в результате ферментации. Максимальный выход этанола (16,5 г/л) выявлен в условиях предварительной обработки 6%-й кислотой + автоклав. С увеличением концентрации биоэтанола уровень сахара в системе снижается.

Таблица 1

Скорость ферментативного гидролиза при различных условиях предварительной обработки обыкновенного тростника с использованием ЦеллоЛюкс-Ф

Предварительная обработка	Скорость ферментативного гидролиза, сутки		
	1	2	3
4 % кислота	0,23	0,15	0,11
4 % щелочь	0,22	0,12	0,85
6 % кислота	0,29	0,16	0,12
6 % щелочь	0,23	0,13	0,1
8 % кислота	1,12	0,85	0,79
8 % щелочь	1,02	0,74	0,66

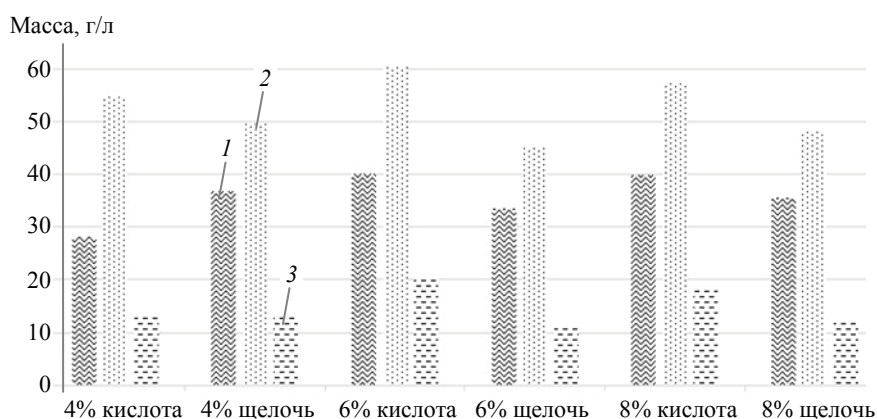


Рис. 1. Результаты общего высвобождения ферментируемого сахара (предварительная обработка + ферментативный гидролиз)
 1 – общий редуцирующий сахар, г/л;
 2 – общий сбраживаемый сахар, г/100 г биомассы;
 3 – этанол, г/л

Отметим, что биоконверсия биомассы в сбраживаемые сахара в производстве биоэтанола – это динамичная область исследований, в которой прилагаются большие силы с точки зрения простоты и эффективности процесса для увеличения конечного продукта. Методы предварительной обработки и процесс гидролиза считаются двумя фундаментальными этапами всего процесса конверсии, которые характеризуют общую эффективность процесса [12]. Изучено производство этанола в процессе ферментации. Наивысший выход этанола (16,5 г/л) получен в условиях предварительной обработки 6%-й кислотой + автоклав. По мере увеличения концентрации биоэтанола уровень сахара в системе снижается.

Производство биоэтанола из отходов тростника обыкновенного является процессом достаточно привлекательным и устойчивым. Использование его биомассы в значительной степени повлияет на сокращение выброса парниковых газов. По этой причине необходимо использовать ЛЦС для производства биоэтанола в промышленных масштабах как экономически эффективного и экологически целесообразного метода.

Исчисление размера вреда, причиненного почвам, как объекту охраны окружающей среды, проводилось по методике, утвержденной приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 8 июля 2010 г. № 238.

Расчет проводился по формуле

$$УЩ = УЩ_{загр} + УЩ_{отх} + УЩ_{перекр} + УЩ_{сн} + УЩ_{уничт},$$

где УЩ – общий размер вреда, причиненного почвам, р.; УЩ_{загр} – размер вреда в результате загрязнения почв, возникшего при поступлении в почву загрязняющих веществ, приводящего к несоблюдению нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы предельно (ориентировочно) допустимых концентраций загрязняющих веществ в почвах; УЩ_{отх} – исчисление в стоимостной форме размера вреда в результате порчи почв при их захлавлении, возникшего при складировании на поверхности почвы или почвенной толще отходов производства и потребления; УЩ_{перекр} – исчисление в стоимостной форме размера вреда в резуль-

тате порчи почв при перекрытии ее поверхности, возникшего при перекрытии искусственными покрытиями; УЩ_{сн} – исчисление в стоимостной форме размера вреда в результате порчи почв при снятии плодородного слоя почвы; УЩ_{уничт} – исчисление в стоимостной форме размера вреда в результате уничтожения плодородного слоя почвы. Результат расчета

$$3\ 843\ 840 + 43\ 200 + 2\ 562\ 560 + 1\ 971\ 200 + 49\ 280\ 000 = 57\ 700\ 800\ \text{р.}$$

Заключение

В ходе проведенных исследований показано, что используемое сырье из обыкновенного тростника способно производить биоэтанол, также доказано, что предварительная обработка отходов тростника обыкновенного раствором 6%-й серной кислоты ускоряет процесс ферментации и способствует оперативному получению биоэтанола. Предварительная обработка 4%-м раствором щелочи в меньшей мере увеличивает процесс ферментации биомассы, но более оправдана с экономической точки зрения, а также доступности и безопасности производства.

Данный вид биомассы является лучшим вариантом, чем биомасса других растений, в аспекте производства биотоплива, получения энергии, теплотворной способности и целлюлозного компонента, которые являются фундаментальными критериями выбора сырья для производства биотоплива.

В работе приведена оценка размера предотвращенного ущерба, нанесенного почвам при эксплуатации объекта размещения отходов площадью 88 000 тыс. м² в размере более 57 700 800 р.

Важным доказательством использования данного сырья является рост биомассы в районах региона без должного ухода, достоинство – использование сырья для производства этанола и лигнина, в качестве компонента для создания органического вяжущего, применяемого в дорожном строительстве.

Список литературы

1. Lakatos G. E., Ranglová K., Manoel J. C., Grivalský T., Kopecký J., Masojídek J. Bioethanol production from microalgae polysaccharides // *Folia Microbiologica* (Praha). – 2019. – Vol. 64, No. 5. – P. 627 – 644. doi: 10.1007/s12223-019-00732-0

2. Carrillo-Nieves D., Alanís M. J. R., de la Cruz Quiruz R., Ruiz H. A., Iqbal H. M. N., Parra-Saldívar R. Current Status and Future Trends of Bioethanol Production from Agro-Industrial Wastes in Mexico // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2019. – Vol. 102, No. 2. – P. 63 – 74. doi: 10.1016/j.rser.2018.11.031

3. Cagnin L., Gronchi N., Basaglia M., Favaro L., Casella S. Selection of Superior Yeast Strains for the Fermentation of Lignocellulosic Steam-Exploded Residues // *Frontiers in Microbiology*. – 2021. – Vol. 12. doi: 10.3389/fmicb.2021.756032

4. Algirdas J., Zaltauskas A., Kryzeviciene A. The Investigation of Growing and Using of Tall Perennial Grasses as Energy Crops // *Biomass and Bioenergy*. – 2008. – Vol. 32, No. 11. – P. 981 – 987. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.01.025

5. Salata F., De Lieto Vollaro A., De Lieto Vollaro R. A Model for Estimating Heat Losses from Underground Cables in Heterogeneous Soil for Optimizing System Design // *Thermal Science*. – 2015. – Vol. 19, No. 2. – P. 461 – 474. doi: 10.2298/TSCI120528119S

6. Naik S. N., Goud V. V., Raut P. K., Dalai A. K. Production of First and Second Generation Biofuels: A Comprehensive Review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2010. – Vol. 14, No. 2. – P. 578 – 597. doi: 10.1016/j.rser.2009.10.003
7. Singh Y. D., Satapathy K. B. Conversion of Lignocellulosic Biomass to Bioethanol: An Overview with a Focus on Pretreatment // *International Journal of Engineering and Technologies*. – 2018. – Vol. 15. – P. 17 – 43. doi: 10.18052/www.scipress.com/IJET.15.17
8. El-Zawawy W. K., Ibrahim M. M., Abdel-Fattah Y. R., Soliman N. A., Mahmoud M. M. Acid and Enzyme Hydrolysis to Convert Pretreated Lignocellulosic Materials into Glucose for Ethanol Production // *Carbohydrate Polymers*. – 2011. – Vol. 84, No. 3. – P. 865 – 871. doi: 10.1016/j.carbpol.2010.12.022
9. Cavalaglio G., Cotana F., Gelosia M., Pompili E., D'Antonio S., Ingles D. An innovative way for the delignification of *Phragmites australis* residues by steam explosion and γ -valerolactone microwave assisted extraction // *Environmental Progress & Sustainable Energy*. – 2017. – Vol. 36, No. 3. doi: 10.1002/ep.12529
10. Чачина, С. Б. Получение биоэтанола из органического сырья / С. Б. Чачина, А. В. Двоян // *Омский научный вестник*. – 2014. – № 2 (134). – С. 224 – 228.
11. Digman M. F., Shinners K. J., Casler M. D., Dien B. S., Hatfield R. D., Jung H.-J. G., Muck R. E., Weimer P. J. Optimizing On-Farm Pretreatment of Perennial Grasses for Fuel Ethanol Production // *Bioresource Technology*. – 2010. – Vol. 101, No. 14. – P. 5305 – 5314. doi: 10.1016/j.biortech.2010.02.014.
12. Peralta-Yahya P. P., Zhang F., del Cardayre S. B., Keasling J. D. Microbial Engineering for the Production of Advanced Biofuels // *Nature*. – 2012. – Vol. 488, No. 7411. – P. 320 – 328. doi: 10.1038/nature11478
13. Использование целлюлозосодержащего сырья, полученного из *phragmitescommunis*. – Текст : электронный / В. Ф. Каблов, Н. А. Соколова, И. Н. Хлобжева [и др.] // *Студенческий научный форум: материалы IX Междунар. студ. науч. конф.* URL: – М.: МГУ, 2017. URL: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017035267> (дата обращения: 08.06.2023).

References

1. Lakatos G.E., Ranglová K., Manoel J.C., Grivalský T., Kopecký J., Masojídek J. Bioethanol production from microalgae polysaccharides, *Folia Microbiologica (Praha)*. 2019, vol. 64, no. 5, pp. 627-644. doi: 10.1007/s12223-019-00732-0
2. Carrillo-Nieves D., Alanís M.J.R., de la Cruz Quiruz R., Ruiz H.A., Iqbal H.M.N., Parra-Saldívar R. Current Status and Future Trends of Bioethanol Production from Agro-Industrial Wastes in Mexico, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, vol. 102, no. 2, pp. 63-74. doi: 10.1016/j.rser.2018.11.031
3. Cagnin L., Gronchi N., Basaglia M., Favaro L., Casella S. Selection of Superior Yeast Strains for the Fermentation of Lignocellulosic Steam-Exploded Residues, *Frontiers in Microbiology*, 2021, vol. 12. doi: 10.3389/fmicb.2021.756032
4. Algirdas J., Zaltauskas A., Kryzeviciene A. The Investigation of Growing and Using of Tall Perennial Grasses as Energy Crops, *Biomass and Bioenergy*, 2008, vol. 32, no. 11, pp. 981-987. doi: 10.1016/j.biombioe.2008.01.025
5. Salata F., De Lieto Vollaro A., De Lieto Vollaro R. A Model for Estimating Heat Losses from Underground Cables in Heterogeneous Soil for Optimizing System Design, *Thermal Science*, 2015, vol. 19, no. 2, pp. 461-474. doi: 10.2298/TSCI120528119S
6. Naik S.N., Goud V.V., Raut P.K., Dalai A.K. Production of First and Second Generation Biofuels: A Comprehensive Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, vol. 14, no. 2, pp. 578-597. doi: 10.1016/j.rser.2009.10.003
7. Singh Y.D., Satapathy K.B. Conversion of Lignocellulosic Biomass to Bioethanol: An Overview with a Focus on Pretreatment, *International Journal of Engineering and Technologies*, 2018, vol. 15, pp. 17-43. doi: 10.18052/www.scipress.com/IJET.15.17

8. El-Zawawy W.K., Ibrahim M.M., Abdel-Fattah Y.R., Soliman N.A., Mahmoud M.M. Acid and Enzyme Hydrolysis to Convert Pretreated Lignocellulosic Materials into Glucose for Ethanol Production, *Carbohydrate Polymers*, 2011, vol. 84, no. 3, pp. 865-871. doi: 10.1016/j.carbpol.2010.12.022

9. Cavalaglio G., Cotana F., Gelosia M., Pompili E., D'Antonio S., Ingles D. An innovative way for the delignification of *Phragmites australis* residues by steam explosion and γ -valerolactone microwave assisted extraction, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2017, vol. 36, no. 3. doi: 10.1002/ep.12529

10. Chachina S.B., Dvoyan A.V. [Obtaining bioethanol from organic raw materials], *Omskiy nauchnyy vestnik* [Omsk Scientific Bulletin], 2014, no. 2 (134), pp. 224-228 (in Russ., abstract in Eng.).

11. Digman M.F., Shinnars K.J., Casler M.D., Dien B.S., Hatfield R.D., Jung H.-J. G., Muck R.E., Weimer P.J. Optimizing On-Farm Pretreatment of Perennial Grasses for Fuel Ethanol Production, *Bioresource Technology*, 2010, vol. 101, no. 14, pp. 5305-5314. doi: 10.1016/j.biortech.2010.02.014.

12. Peralta-Yahya P.P., Zhang F., del Cardayre S.B., Keasling J. D. Microbial Engineering for the Production of Advanced Biofuels, *Nature*, 2012, vol. 488, no. 7411, pp. 320-328. doi: 10.1038/nature11478

13. Kablov V.F., Sokolova N.A., Khlobzheva I.N., Kostin V.E., Antropova A.S., Deinekin M.A., Ukolov V.A., Shoshina Ya.A., Shtakina S.A. [The use of cellulose-containing raw materials obtained from *phragmitescommunis*], *Proceedings of the IX International Student Scientific Conference "Student Scientific Forum"*, Moscow: MSU Publishing House, 2017 (in Russ.).

Features of Ordinary Reed Waste Pretreatment in Creation of Valuable Products

O. P. Mansurov, A. F. Kemalov, R. A. Kemalov

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

Keywords: bioethanol; hydrolysis; sodium hydroxide; common reed; pretreatment; fermentation.

Abstract: Bioconversion of common cane waste at the stage of sugar fermentation in the production of bioethanol is a relevant and dynamically developing research topic. Two types of physicochemical pre-treatment of common reed waste – with alkali and acid – have been studied. Acid pretreatment was found to be superior to alkaline pretreatment, increasing the rate of enzymatic hydrolysis and resulting ethanol production. After pretreatment in an autoclave with 6 % acid, a high content of total reducing sugar was noted (25.4 g/L). Fermentation of hydrolysates of raw materials using the enzyme preparation CelloLux-F contributes to the yield of bioethanol in the amount of 16.5 g/L. It has been shown that the biomass used, in particular common reed waste, can be used for the production of bioethanol.

© О. П. Мансуров, А. Ф. Кемалов, Р. А. Кемалов, 2023