

Будаева Вера Владимировна, заведующая лабораторией биоконверсии, кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), budaeva@ipcet.ru, ул. Социалистическая, 1, Бийск, 659322, Россия. Тел. (3854) 30-59-85, факс (3854) 30-17-25.

Орлов Сергей Евгеньевич, младший научный сотрудник лаборатории процессов и аппаратов химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), serpp@mail.ru, ул. Социалистическая, 1, Бийск, 659322, Россия. Тел. (3854) 30-18-69, факс (3854) 30-17-25.

Золотухин Владимир Николаевич, старший научный сотрудник лаборатории биоконверсии, кандидат технических наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), ул. Социалистическая, 1, Бийск, 659322, Россия. Тел. (3854) 30-15-28.

Хмелев Владимир Николаевич, заместитель директора по научной работе, доктор технических наук, профессор, научный руководитель лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института (филиала) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального

образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», vnh@bti.secna.ru, ул. Трофимова, 27, Бийск, 659305, Россия. Тел. (3854) 43-25-81

Цыганок Сергей Николаевич, к.т.н., доцент, доцент каф. МСИА, заведующий лабораторией акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института (филиала) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», gray@bti.secna.ru, ул. Трофимова, 27, Бийск, 659305, Россия. Тел. (3854) 43-25-81

Удортина Елена Васильевна, заведующая лабораторией химии растительных полимеров, кандидат химических наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИХ Коми НЦ УрО РАН), udoratina-ev@chemi.komisc.ru, ул. Первомайская, 48, Сыктывкар, 167982, Россия. Тел. (8212) 21-99-61, факс (8212) 21-84-77.

Щербакова Татьяна Петровна, научный сотрудник лаборатории химии растительных полимеров, кандидат химических наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИХ Коми НЦ УрО РАН), sher.taty@mail.ru, ул. Первомайская, 48, Сыктывкар, 167982, Россия. Тел. (8212) 21-99-61, факс (8212) 21-84-77.

УДК 66.061.3; 66.098

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОДОВЫХ ОБОЛОЧЕК ОВСА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА

А.А. Кухленко, М.С. Василишин, С.Е. Орлов, Д.Б. Иванова,
В.Н. Золотухин, Е.И. Макарова, В.В. Будаева

Исследовано влияние различных способов предварительной обработки плодовых оболочек овса в роторно-пульсационном аппарате и емкостной аппаратуре на эффективность проведения последующей стадии ферментативного гидролиза субстратов целлюлозы. Показано, что применение роторно-пульсационного аппарата в сочетании с определенными режимными параметрами процесса предобработки способствует удалению нецеллюлозных примесей из субстратов, что во многом определяет скорость и длительность следующего за предобработкой процесса ферментативного гидролиза.

Ключевые слова: плодовые оболочки овса, роторно-пульсационный аппарат, целлюлоза, лигнин, пентозаны, ферментативный гидролиз, редуцирующие вещества, эффективность гидролиза.

ВВЕДЕНИЕ

Характерной тенденцией индустриального развития на современном этапе является

все возрастающее применение моторных топлив из возобновляемых источников сырья, в том числе биомассы. Так в качестве одного

из способов получения биотоплив (этанола и бутанола) рассматривается сбраживание продуктов ферментативного гидролиза целлюлозных субстратов. Замечено [1, 2], что наилучшие характеристики растворов редуцирующих веществ (РВ) получаются из сырья, обладающего низкими показателями зольности и массового содержания лигнина и пентозанов, что достигается его предварительной обработкой. Удаление лигнина и пентозанов из растительного сырья является сложной технической задачей, решение которой определяется как правильностью выбора основного технологического оборудования, так и режимными параметрами его эксплуатации.

В ИПХЭТ СО РАН накоплен положительный опыт применения аппаратов роторно-пульсационного типа (РПА) для интенсификации процессов извлечения ряда ценных компонентов из сырья растительного происхождения [3-5]. Анализ выполненных исследований показал, что применение такого оборудования для делигнификации растительного сырья представляется весьма перспективным.

В связи с этим целью данной работы является исследование влияния способа предварительной обработки плодовых оболочек овса (ПОО) на эффективность ферментативного гидролиза субстратов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами исследования были волокнистые продукты (ВП), полученные путем предварительного гидролиза ПОО слабой азотной кислотой (ЦСП) и последующей обработкой в щелочном растворе двумя различными способами: в стандартном емкостном аппарате с перемешивающим устройством и в установке с РПА.

Обработку ЦСП в емкостном аппарате, снабженном перемешивающим устройством ($n=5-8$ об/с), проводили в 2 %-ном водном растворе NaOH с гидромодулем 40 в течение 2 ч при комнатной температуре. Волокнистый продукт после фильтрации, промывки водой, обработки слабой азотной кислотой (декатионирования), отмывки водой, отжима и сушки обозначили ВП (2 ч).

Обработку в установке с РПА проводили циркуляцией суспензии 1,5 кг ЦСП в 60 л 2 %-ного раствора NaOH в течение 1 ч. Затем полученный продукт подвергался обработке аналогичной вышеописанному опыту, проведенному в емкостном аппарате. Более подробно описание методик проведения экспериментов и их результатов изложены в ра-

боте [6].

Далее проводили дополнительную обработку ВП РПА различными четырьмя процедурами: 1 – после обработки 2 % NaOH при температуре 80 °С с последующим декатионированием; 2 – после обработки 4 % NaOH при 80 °С с последующим декатионированием; 3 – после обработки 4 % NaOH при 90-95 °С, затем 4 % HNO₃ при 90-95 °С; 4 – после обработки 4 % NaOH при 90-95 °С, затем 4 % HNO₃ при 90-95 °С с дополнительной промывкой продукта прямо на фильтре 1 %-ным раствором NaOH с последующим декатионированием.

Влажность полученных продуктов определяли на анализаторе MB 23/MB 25 (Швейцария).

Анализ продуктов на показатели: зольность, массовая доля (м.д.) кислотонерастворимого лигнина, м.д. целлюлозы по Кюршнеру, м.д. пентозанов в пересчете на абсолютно сухое вещество (а.с.в.) проводили по стандартным методикам [7]. В некоторых образцах дополнительно определяли массовые доли α -целлюлозы, степень полимеризации (СП) целлюлозы (в растворе кадоксена) [7-9].

Исследования ферментативного гидролиза шести субстратов: ВП (2 ч), ВП РПА, ВП РПА-1, ВП РПА-2, ВП РПА-3, ВП РПА-4 проводили по методике [10] с применением ферментных препаратов «Брюзайм BGX» и «Целлолюкс-А» в течение 72 ч. Определение редуцирующих веществ (РВ) в пересчете на глюкозу проводили спектрофотометрически на «UNICO UV-2804» (США) с использованием реактива на основе 3,5-динитросалициловой кислоты (Pangeas, Испания). Относительная погрешность метода составляет 3,45 %.

По окончании процесса суспензию фильтровали под вакуумом, остаток отжимали на фильтре. В фильтрате анализировали концентрацию РВ в пересчете на глюкозу и концентрацию пентоз железорсиновым способом [7] (относительная погрешность составляет 5,00 %). Выход РВ рассчитан в двух вариантах: на массу субстрата (5 г а.с.в.) и на массу гидролизующих компонентов (с вычетом нецеллюлозных примесей золы и лигнина). Для обоих случаев выход РВ рассчитан с учетом коэффициента 0,9, обусловленного присоединением молекулы воды к ангидроглюкозным остаткам соответствующих мономерных звеньев в результате ферментативного гидролиза. Относительная погрешность определения выхода РВ не более 1 %.

Дополнительно был исследован фермен-

тативный гидролиз двух продуктов ВП РПА-3 и ВП РПА-4 с различными исходными концентрациями субстрата: 30, 60 и 90 г/л.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристики полученных продуктов приведены в таблице 1. Сравнение продуктов, полученных в аппарате с перемешивающим устройством и с использованием РПА, показало, что образец ВП РПА в сравнении с образцом ВП(2 ч) обладает более высокой степенью чистоты. Если содержание пентозанов в образцах ВП (2 ч) и ВП РПА одинаково, то такие параметры как зольность продукта, которая составляет 3,50 % (ВП РПА) против 5,67 % (ВП (2 ч)) и м.д. лигнина – 13,0 % (ВП РПА) против 17,4 % (ВП (2 ч)), позволяют говорить о том, что на стадии предобработки ПОО в установке с РПА осуществляется более полное извлечение лигнина. При этом условия проведения процесса делигнификации в обо-

их случаях идентичны: концентрация щелочи и модуль равны, при этом обработка образца ВП РПА осуществляется при значительно меньшем времени – 1 ч против 2 ч (ВП (2 ч)).

Полученные результаты по удалению лигнина из ПОО на стадии предобработки во многом обусловлены разрушением структуры волокон растительной ткани ПОО в РПА. Механизм разрушения растительной ткани ПОО отличается от ранее предложенного нами механизма разрушения частиц растительного сырья [11] в силу анизотропии свойств частиц ПОО. Так если для изотропных материалов измельчение одной частицы сопровождается появлением чаще всего двух новых частиц меньшего размера, то при обработке в РПА такого материала как ПОО разрушение волокон ткани ведет к увеличению частиц в объеме (появляются разрывы между, но не поперек волокон), что приводит к образованию многочисленных пор в частицах ПОО.

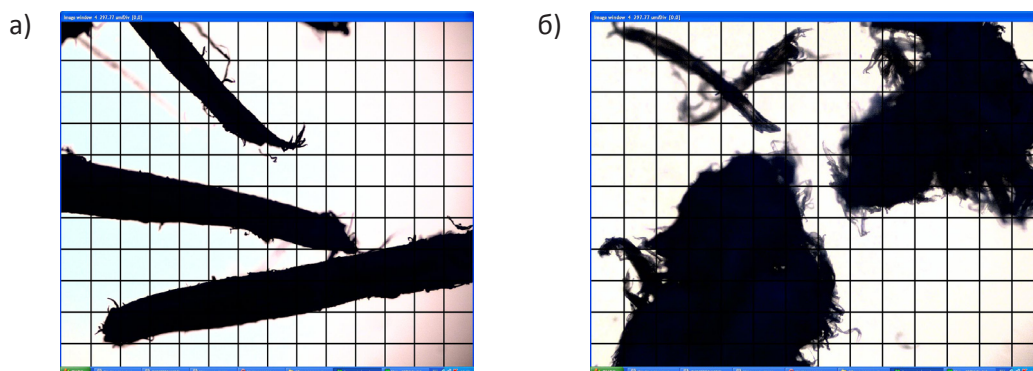
Таблица 1 – Характеристики образцов ВП (2 ч), ВП РПА, ВП РПА-1, ВП РПА-2, ВП РПА-3, ВП РПА-4

Наименование образца	Зольность, %	Лигнин, %	Пентозаны, %	Целлюлоза, %	Степень полимеризации
ВП (2 ч)	5,67	17,4	8,9	78,7	–
ВП РПА	3,50	13,0	9,0	85,3	–
ВП РПА-1	1,67	8,9	7,5	89,1	–
ВП РПА-2	1,16	8,0	5,6	91,8	–
ВП РПА-3	0,61	1,4	5,5	94,9*	926
ВП РПА-4	0,11	0,5	5,0	94,2*	970
Примечание: * – α-целлюлоза					

На рисунке 1а приведены микрофотографии структуры волокон для образца ВП (2 ч), а на рисунке 1б – микрофотографии образца ВП РПА. Из рисунков 1а и 1б видно, что структура волокон растительной ткани в образце ВП (2 ч) не изменилась в сравнении с исходным сырьем: волокна в частицах имеют упорядоченную структуру. Частицы же образца ВП РПА такой упорядоченной структуры не имеют, они приобретают объем вследствие «распушения» их волокон. Наличие такого эффекта, как «распушение волокон», приводит к образованию в частицах большого количества открытых пор, что улучшает доступ экстрагента к сырью и ускоряет процесс удаления нецеллюлозных примесей из ПОО.

Последующая дополнительная обработ-

ка 2 %-ным водным раствором NaOH образца ВП РПА показала, что при повышении температуры обработки с 20°C до 80°C (ВП РПА-1) в заметной степени снизились зольность и лигнин: с 3,50 % до 1,67 % и с 13,0 % до 8,9 % соответственно. Такой результат объясняется повышением концентрации насыщения щелочного раствора лигнином. При этом отмечено, что использование при температуре 80°C вместо 2 %-ного, 4 %-ного раствора NaOH (ВП РПА-2) незначительно повлияло на зольность и остаточное содержание лигнина в продукте: зольность примерно на том же уровне 1,16 % против 1,67 %, лигнин понизился с 8,9 % до 8,0 %, однако увеличение количества щелочи позволило снизить содержание пентозанов: с 7,5 % до 5,6%.



а) частицы ВП (увеличение $\times 40$); б) частицы ВП РПА (увеличение $\times 40$)
Рисунок 1 – Микрофотографии образцов ВП и ВП РПА (1 клетка – 300×300 мкм)

Дальнейшее проведение дополнительной обработки (практически в условиях комбинированного способа получения целлюлозы щелочная делигнификация (ЩД) с последующей азотнокислой обработкой сырья (АК) [12] обеспечило довольно высокие показатели качества в образцах ВП РПА-3: зольность снизилась с 1,16 % до 0,62 %, м.д. лигнина – с 8,0 % до 1,4 %. Дополнительная промывка полученного таким образом образца слабой щелочью и кислотой (ВП РПА-4) также повышает качество целлюлозы: зольность 0,11 % и м.д. лигнина 0,5 %. М.д. пентозанов осталась на прежнем уровне 5,6-5,0 %, м.д. целлюлозы по Кюршнеру возросла с 91,8 % до 94,2 %. СП целлюлоз последних двух образцов составили 926 и 970 соответственно.

Кинетика ферментативного гидролиза шести субстратов, исследованных в настоящей работе, приведены на рисунке 2 в виде зависимостей концентраций РВ от продолжительности процесса.

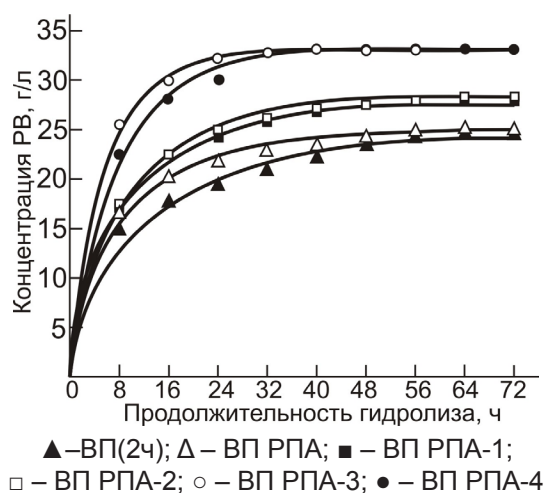


Рисунок 2. Зависимость концентрации РВ субстратов от продолжительности ферментативного гидролиза.

Из кривых, приведенных на рисунке 2, видно, что в первые 24 ч гидролиза наблюдается различное поведение субстратов ВП (2 ч) и ВП РПА. Рост концентрации РВ образца ВП РПА происходит быстрее. Это объясняется более высокой чистотой продукта (меньшим содержанием нецеллюлозных примесей), и следовательно, большим количеством РВ в исходном материале, а также пористостью частиц ПОО, обеспечивающей свободное проникновение ферментного комплекса вглубь частиц.

Результаты гидролиза данных субстратов после 72 ч процесса приведены в таблице 2 с указанием концентрации РВ, в том числе и пентоз, а также выходов, рассчитанных на массу субстрата (5 г а.с.в.) и на массу гидролизующихся компонентов (за вычетом нецеллюлозных примесей золы и лигнина). Из представленных результатов видно, что дополнительная очистка сырья от лигнина, осуществленная в образцах ВП РПА-3 и ВП РПА-4, не приводит к увеличению концентрации РВ в пересчете на массу гидролизующихся компонентов, однако приводит к значительному росту скорости процесса гидролиза. Так, согласно результатам, представленным на рисунке 2 и в таблице 2, продолжительность процесса гидролиза для образцов ВП (2 ч) и ВП РПА составляет порядка 64 ч, для образцов ВП РПА-1 и ВП РПА-2 гидролиз завершается спустя 48 ч от его начала, а для образцов ВП РПА-3 и ВП РПА-4 процесс длится 32 ч. Таким образом, выбор способа предобработки ПОО оказывает значительное влияние на скорость и длительность исследуемого процесса.

Таблица 2 – Результаты ферментативного гидролиза субстратов после 72 ч

Наименование субстрата	Концентрация, г/л		Выход, %	
	РВ	в том числе пентоз	на массу субстрата	на массу гидролизующих компонентов
ВП (2 ч)	25,75	2,92	69,5	90,3
ВП РПА	26,25	2,92	70,9	84,9
ВП РПА-1	28,75	2,21	77,6	86,8
ВП РПА-2	28,00	1,60	79,0	88,3
ВП РПА-3	33,50	1,62	90,5	92,4
ВП РПА-4	33,30	1,53	89,9	90,5

Известно, что концентрация РВ в гидролизате для проведения дальнейшего сбраживания в биоэтанол должна быть в пределах 60-120 г/л [10, 13]. Поэтому было проведено исследование ферментативного гидролиза самых чистых субстратов – целлюлоз – ВП РПА-3 и ВП РПА-4 с исходными концентрациями 30, 60 и 90 г/л. Результаты этих исследований приведены на рисунке 3 и в таблице 3.

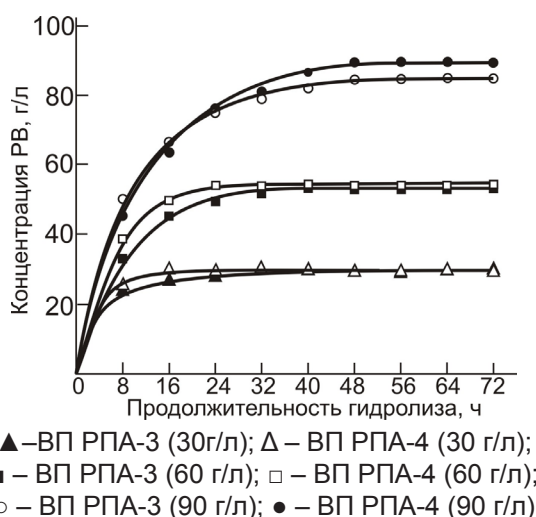


Рисунок 3 – Зависимость концентрации РВ субстратов ВП РПА-3 и ВП РПА-4 от продолжительности ферментативного гидролиза

Таблица 3 – Результаты ферментативного гидролиза субстратов ВП РПА-3 и ВП РПА-4 после 72 ч

Обозначение образца	Конечная концентрация РВ, г/л	Выход РВ на массу субстрата, %
ВП РПА-3 (30 г/л)	33,5	100,5
ВП РПА-3 (60 г/л)	59,0	88,5
ВП РПА-3 (90 г/л)	91,0	91,0
ВП РПА-4 (30 г/л)	33,3	99,9
ВП РПА-4 (60 г/л)	60,5	90,8
ВП РПА-4 (90 г/л)	85,0	85,0

Из таблицы 3 следует, что увеличение навески субстратов несколько снижает выход РВ, что закономерно, и объясняется субстратным ингибированием, преодолеть которое возможно путем удаления РВ из раствора с помощью, например, мембранных фильтров.

ВЫВОДЫ

По результатам, полученным в настоящей работе, можно сделать следующие выводы.

Выбор способа предобработки, обеспечивающего снижение нецеллюлозных примесей в субстратах, оказывает значительное влияние на кинетику процесса ферментативного гидролиза. Предпочтительной является предварительная обработка ПОО, осуществляемая в оборудовании роторно-пульсационного типа с последующей комбинированной обработкой ПОО при температурах 90-95 °С. Данная температура обработки увеличивает концентрацию насыщения раствора нецеллюлозными примесями, а применение РПА способствует появлению в частицах ПОО пор, что облегчает доступ экстрагента, а затем и ферментного комплекса к поверхности волокон.

Удаление из исходного субстрата нецеллюлозных примесей способствует значительному (в 1,5-2 раза) увеличению скорости ферментативного гидролиза. Наиболее качественные образцы субстратов (ВП РПА-3 и ВП РПА-4) гидролизуются за 32-48 ч, в то время как в исходных слабоочищенных от примесей образцах ВП (2 ч) и ВП РПА продолжительность эффективного ферментативного гидролиза составляет 64-72 ч соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синицын А.П., Гусаков А.В., Черноглазов В.М. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 224 с.
2. Будаева В.В., Митрофанов Р.Ю., Золотухин В.Н. Исследование ферментативного гидролиза отходов переработки злаков // Ползуновский вестник. – 2008. – № 3. – С. 322-327.

3. Будаева В.В., Кухленко А.А. Извлечение флавоноидсодержащих комплексов в малогабаритном оборудовании / Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы IV Всерос. конф., Барнаул, 21-23 апреля 2009 г.: в 2 кн. / Под ред. Н.Г. Базарновой, В.И. Маркина. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2009. – Кн. 1. – С. 185-187.

4. Василишин, М.С. Экстракция арабиногалактана из опилок лиственницы сибирской в аппарате роторно-пульсационного типа / М.С. Василишин, В.В. Будаева, А.А. Кухленко, А.Г. Карпов, О.С. Иванов, С.Е. Орлов, В.А. Бабкин, Е.Н. Медведева // Ползуновский вестник. – 2010. – № 4-1. – С. 168-173.

5. Орлов, С.Е. Исследование эффективности роторно-пульсационного аппарата в процессе экстракции лигнина из недревесного растительного сырья / С.Е. Орлов, В.В. Будаева, А.А. Кухленко, А.Г. Карпов, М.С. Василишин, В.Н. Золотухин // Ползуновский вестник. – 2010. – № 4-1. – С. 183-188.

6. Иванов О.С., Василишин М.С., Будаева В.В., Золотухин В.Н., Карпов А.Г., Макарова Е.И., Бережинова М.Н. Делигнификация плодовых оболочек овса в роторно-пульсационном аппарате // Ползуновский вестник. – 2013. – № 3. – С. 247-250.

7. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. – М.: Экология, 1991. – С. 73-75, 79-80, 106-107, 119-120, 161-164, 200-203, 229, 250-254.

8. ГОСТ 10820 – 75 Целлюлоза. Метод определения массовой доли пентозанов. Издание официальное. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 8 с.

9. ГОСТ 595 – 79 Целлюлоза хлопковая. Технические условия. Издание официальное. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 14 с.

10. Макарова Е.И. Результаты ферментации целлюлозы мискантуса в ацетатном буфере и водной среде // Химия в интересах устойчивого развития. – 2013. – Т. 21, № 2. – С. 219-225.

11. Кухленко, А.А. Расчет фракционного состава и площади поверхности твердых частиц в процессе их диспергирования в роторно-пульсационном аппарате / А.А. Кухленко, М.С. Василишин, С.Е. Орлов, Д.Б. Иванова // Ползуновский вестник. – 2010. – № 3. – С. 180-183.

12. Золотухин В.Н., Будаева В.В. Сравнительная характеристика целлюлоз, полученных щелочной делигнификацией из нетрадиционного сырья / Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы V Всерос. конф., Барнаул, 24-26 апреля 2012 г. / Под ред. Н.Г. Базарновой, В.И. Маркина. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2012. – С. 75-77.

13. Скиба Е.А., Будаева В.В., Павлов И.Н., Макарова Е.И., Золотухин В.Н., Сакович Г.В. Получение ферментативных гидролизатов технических целлюлоз мискантуса и их спиртовое брожение // Биотехнология. – 2012. – № 6. – С.42-52.

Кухленко Алексей Анатольевич, старший научный сотрудник лаборатории процессов и аппаратов химических технологий, кандидат техниче-

ских наук, доцент Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), ak-79@rambler.ru, ул. Социалистическая, 1, Бийск, 659322, Россия. Тел. (3854) 30-18-69.

Василишин Михаил Степанович, заведующий лабораторией процессов и аппаратов химических технологий, кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), admin@ipcet.ru, ул. Социалистическая, 1, Бийск, 659322, Россия. Тел. (3854) 30-18-37.

Орлов Сергей Евгеньевич, младший научный сотрудник лаборатории процессов и аппаратов химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), serpp@mail.ru, ул. Социалистическая, 1, Бийск, 659322, Россия. Тел. (3854) 30-18-69.

Иванова Дарья Борисовна, младший научный сотрудник лаборатории процессов и аппаратов химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), ivanovadasha84@mail.ru, ул. Социалистическая, 1, Бийск, 659322, Россия. Тел. (3854) 30-18-69.

Золотухин Владимир Николаевич, старший научный сотрудник лаборатории биоконверсии, кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), ул. Социалистическая, 1, Бийск, 659322, Россия. Тел. (3854) 30-15-28.

Макарова Екатерина Ивановна, младший научный сотрудник лаборатории биоконверсии, аспирант Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), massl@mail.ru, ул. Социалистическая, 1, Бийск, 659322, Россия. Тел. (3854) 30-59-85, факс (3854) 30-17-25.

Будаева Вера Владимировна, заведующая лабораторией биоконверсии, кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), budaeva@ipcet.ru, ул. Социалистическая, 1, Бийск, 659322, Россия. Тел. (3854) 30-59-85, факс (3854) 30-17-25.