



РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы

УДК 636.084.42:661.728.7:630*813.14

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.001

EDN: ZTGFZK

ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗНОГО КОМПЛЕКСА ИЗ ДЕПЕКТИНИЗИРОВАННОГО СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА

Семен Олегович Семенихин ¹, Алла Андреевна Фабрицкая ²,
Наиля Мидхатовна Даишева ³

^{1, 2, 3} Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Краснодар, Россия

¹ semenikhin_s_o@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2038-0122>

² ms.fabritskaya@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9310-4543>

³ daisheva_n_m@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5813-156X>

Аннотация. Наличие в составе свекловичного жома (побочного продукта переработки сахарной свеклы) пектина, гемицеллюлоз и целлюлозы обуславливает перспективность использования свекловичного жома в качестве сырья для выделения пищевых ингредиентов. Однако современные технологии переработки свекловичного жома нацелены на выделение пектина и не предусматривают дальнейшую переработку депектинизированного жома. Цель исследований – обработка депектинизированного свекловичного жома с получением целлюлозно-гемицеллюлозного комплекса, из которого в дальнейшем планируется извлечь гемицеллюлозы и целлюлозу. Для достижения поставленной цели решали задачи анализа современных методов гидролиза протопектина и лигнина из растительного сырья, гидролиза остаточного содержания пектиновых веществ с применением соляной кислоты и пектиназы, а также гидролиза остаточного содержания лигнина с применением перекиси водорода. Установлено, что процесс гидролиза пектиновых веществ под воздействием соляной кислоты и пектиназы протекает по-разному: соляная кислота в большей степени разлагает пектин, а пектиназа – протопектин. Тем не менее, более эффективным реагентом является соляная кислота, так как обеспечивает более высокую степень гидролиза пектиновых веществ (суммарно). Установлена высокая эффективность применения перекиси водорода для гидролиза лигнина – достигается полное разложение лигнина. Полученные результаты могут служить основой для разработки технологий комплексной переработки свекловичного жома, позволяющих эффективно извлекать пищевые ингредиенты с высоким выходом и качественными характеристиками.

Ключевые слова: свекловичный жом, пектин, протопектин, лигнин, целлюлоза, гемицеллюлозы, соляная кислота, пектиназа, перекись водорода.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда в рамках проекта №24-26-20065, <https://rscf.ru/project/24-26-20065/>.

Для цитирования: Семенихин С. О., Фабрицкая А. А., Даишева Н. М. Получение целлюлозно-гемицеллюлозного комплекса из депектинизированного свекловичного жома // Ползуновский вестник. 2026. № 2, С. 7–13. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.001. EDN: <https://elibrary.ru/ZTGFZK>.

Original article

OBTAINING CELLULOSE-HEMICELLULOSE COMPLEX FROM DEPECTINIZED BEET PULP

Semen O. Semenikhin ¹, Alla A. Fabritskaya ², Nailya M. Daisheva ³

^{1, 2, 3} Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking», Krasnodar, Russia

¹ semenikhin_s_o@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2038-0122>

² ms.fabritskaya@list.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9310-4543>

³ daisheva_n_m@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5813-156X>

Abstract. The presence of pectin, hemicelluloses, and cellulose in beet pulp (a byproduct of sugar beet processing) makes it a promising raw material for extracting food ingredients. However, current beet pulp processing tech-

© Семенихин С. О., Фабрицкая А. А., Даишева Н. М., 2026

nologies, focused on pectin extraction, do not provide for further processing of depectinized beet pulp. The aim of this research is to process depectinized beet pulp to produce a cellulose-hemicellulose complex, from which hemicelluloses and cellulose are subsequently extracted. To achieve this goal, we hydrolyzed the residual pectin content using mineral acids and enzymes, as well as hydrolyzed the residual lignin content using hydrogen peroxide. It has been established that the hydrolysis of pectin substances under the influence of hydrochloric acid and enzymes proceeds differently: hydrochloric acid degrades pectin to a greater extent, while enzymes degrade protopectin. However, hydrochloric acid is a more effective reagent, as it ensures a higher degree of pectin substances hydrolysis (in total). Hydrogen peroxide has been shown to be highly effective in hydrolyzing lignin, achieving complete lignin degradation. These results can serve as a basis for developing technologies for the integrated processing of sugar beet pulp, enabling the efficient extraction of food ingredients with high yields and high-quality characteristics.

Keywords: beet pulp, pectin, protopectin, lignin, cellulose, hemicelluloses, hydrochloric acid, pectinase, hydrogen peroxide.

Acknowledgments. The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation within the framework of project No. 24-26-20065, <https://rscf.ru/project/24-26-20065/>.

For citation: Semenikhin, S. O., Fabrichskaya, A. A. & Daisheva, N. M. (2026). Obtaining a cellulose-hemicellulose complex from depectinized sugar beet pulp. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 7-13. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.02.001. EDN: <https://elibrary.ru/ZTGFZK>.

ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что свекловичный жом является перспективным сырьем для получения низкоэтерифицированного пектина. Однако в современных технологиях не предусматривается дальнейшая переработка жома, получаемого в результате извлечения пектина. Следует отметить, что в таком жоме содержится значительное количество целлюлозы и гемицеллюлоз, которые так же, как и пектин, являются ценными пищевыми ингредиентами. Это обуславливает перспективность использования свекловичного жома в качестве сырья для выделения большего ассортимента пищевых ингредиентов.

Технология трансформации свекловичного жома в результате ее реализации должна обеспечивать максимальную сохранность всех пищевых ингредиентов при их максимальном выходе и высоком качестве.

Наиболее изученным компонентом, формирующим состав свекловичного жома, является пектин [1–3]. Значительный интерес к пектину, по сравнению с другими пищевыми волокнами, формирующими химический состав свекловичного жома, обусловлен высокими технологическими и функциональными свойствами пектина [4–6]. В настоящее время основное внимание исследователей сосредоточено преимущественно на технологиях извлечения пектина [7–10]. Наличие у пектина студнеобразующей и комплексообразующей способностей также обусловило распространенность научных работ по его применению в продуктах питания [11–13].

К сожалению, современные исследования отечественных ученых в области извлечения гемицеллюлоз из растительного сырья практически отсутствуют. Следует отметить, что в работе исследователей Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва описан способ получения пектина и целлюлозы – вначале из свекловичного жома извлекают пектин кислотной экстракцией, а затем удаляют балластные вещества щелочной экстракцией [14]. Однако при данном способе гемицеллюлозы извлекаются совместно с другими балластными веществами, а не отдельно.

В работе германо-финских исследователей рассмотрено извлечение гемицеллюлоз из твердой (опилок) и мягкой древесины, а также бамбука с применением в качестве экстрагирующего реагента раствора гидрокарбоната натрия и последующим отделением гемицеллюлоз в солевой форме микрофльтрацией, в результате чего достигается степень извлечения гемицеллюлоз 67 % для бамбука, 53 % для твердой древесины и 48 % для мягкой древесины [15].

В работе китайских исследователей отмечено,

что применение раствора гидроксида калия с последующим осаждением этиловым спиртом позволяет извлечь 76,3 % гемицеллюлоз из стеблей сладкого сорго [16].

Следует также отметить, что как в отечественных, так и в иностранных научных работах по извлечению целлюлозы и гемицеллюлоз в качестве сырья в основном используют отходы лесотехнической промышленности, так как их химический состав сформирован целлюлозой, гемицеллюлозами и лигнином, а также они легкодоступны в то время, как прочие растительные ресурсы практически не рассматриваются [17, 18].

Особенностью свекловичного жома как сырья для извлечения целлюлозы и гемицеллюлоз является наличие пектиновых веществ, что несколько усложняет технологию, так как требует учета реакционных свойств большого количества химических веществ. Как показано в работе китайских исследователей, извлечение пектина щелочными растворами так же эффективно, как и классическое применение для этого процесса растворов кислот [19].

Таким образом, применение щелочных растворов для экстракции гемицеллюлоз без предварительного гидролиза пектиновых веществ свекловичного жома приведет к извлечению пектина наряду с гемицеллюлозами, что ухудшит их качество.

Учитывая это, разработка технологии трансформации свекловичного жома, позволяющая извлекать формирующие его химический состав пищевые ингредиенты при их максимальном выходе и высоком качестве, имеет научную новизну и практическую значимость.

На наш взгляд, рациональная структурная схема технологии получения целлюлозы и гемицеллюлоз из свекловичного жома должна включать стадии, представленные на рисунке 1.

Проведенными в нашем институте исследованиями установлены оптимальные режимы извлечения пектина из свекловичного жома [20–22]. Учитывая это, на данном этапе исследований необходимо получить целлюлозно-гемицеллюлозный комплекс с минимальным остаточным содержанием нерастворимых в воде компонентов.

Цель работы – обработка депектинизованного свекловичного жома с получением целлюлозно-гемицеллюлозного комплекса, из которого в дальнейшем планируется извлечь гемицеллюлозы и целлюлозу.

Задачи: провести анализ современных методов гидролиза протопектина и лигнина из растительного сырья; выявить закономерности гидролиза остаточного содержания пектиновых веществ с применением соляной кислоты и пектиназы, а также гидролиза остаточного содержания лигнина с применением перекиси водорода.

ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗНОГО КОМПЛЕКСА ИЗ ДЕПЕКТИНИЗИРОВАННОГО СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА

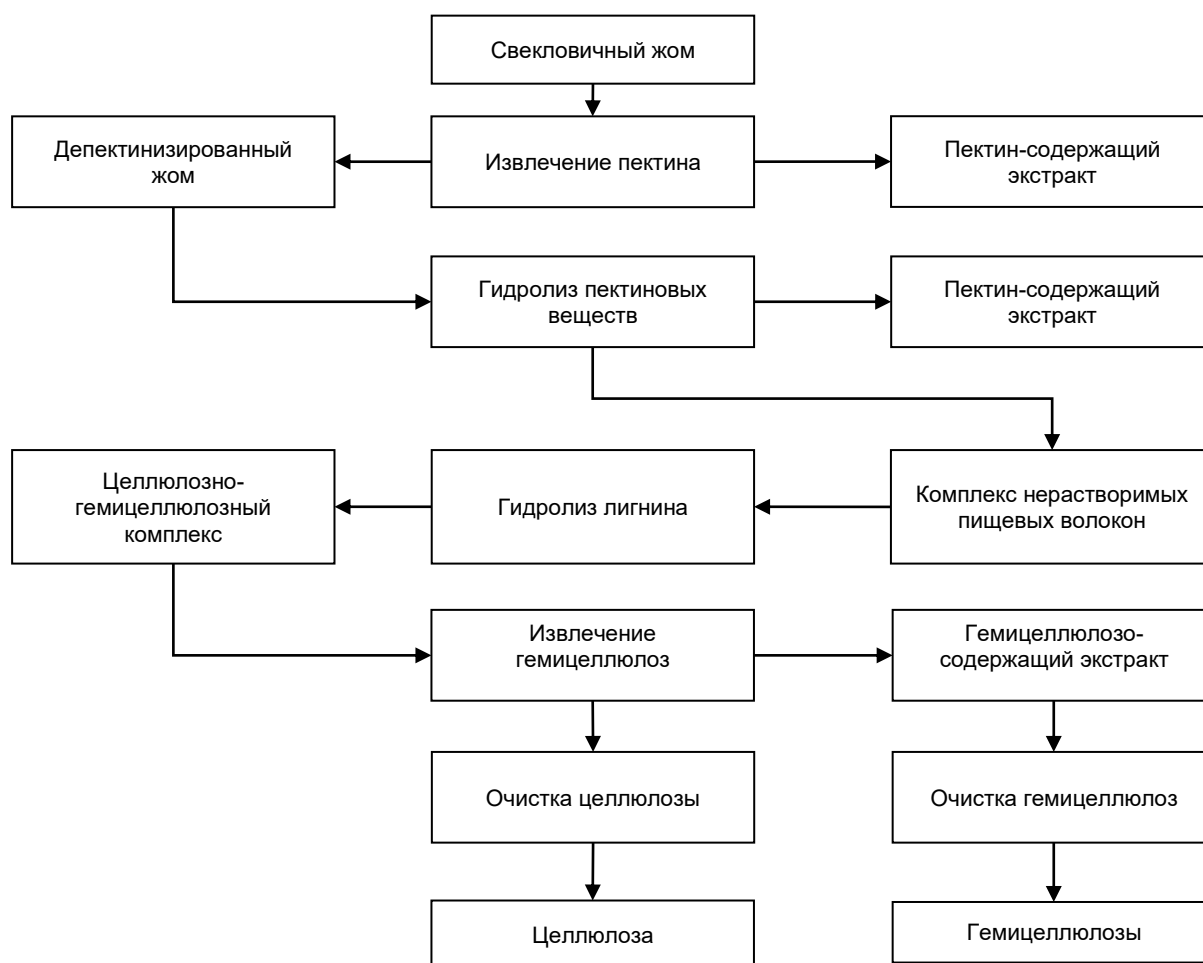


Рисунок 1 – Структурная схема технологии получения целлюлозы и гемицеллюлоз из свековичного жома

Figure 1 – Structural diagram of the technology for obtaining cellulose and hemicelluloses from sugar beet pulp

Для получения целлюлозно-гемицеллюлозного комплекса из депектинизированного свековичного жома требуется гидролизовать остаточное содержание балластных веществ – протопектина и лигнина. При этом гидролиз остаточного содержания протопектина и лигнина должен осуществляться без сопутствующего гидролиза целлюлозы и гемицеллюлоз, что будет негативно сказываться на эффективности технологии.

Общеизвестно, что наибольшей гидролизующей способностью по отношению к пектиновым веществам обладают минеральные кислоты [23]. Однако в настоящее время особый научный интерес представляет использование ферментов, так как они имеют точечную направленность и не воздействуют на сопутствующие вещества [24, 25]. Учитывая это, проводили сравнительную оценку эффективности гидролиза пектина с применением минеральной кислоты и пектолитических ферментов.

В качестве минеральной кислоты была выбрана соляная кислота, так как в ходе гидролиза она не образует токсичных побочных соединений, а также является доступным реагентом. В качестве фермента была выбрана коммерческая пектиназа, свободно продаваемая в розницу, а не лабораторно-вырабатываемая в ограниченном количестве, чтобы приблизить лабораторные исследования к реальным условиям.

Эффективными способами гидролиза лигнина являются применение озона, растворов органических кислот или растворов перекиси водорода [26–28]. Для делигнификации брали перекись водорода, так как в ходе гидролиза она не образует токсичных побочных соединений, а также является доступным реагентом. Кроме этого, по литературным данным перекись водорода практически не гидролизует целлюлозу и гемицеллюлозы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлись прессованный свековичный жом, а также получаемые из него в лабораторных условиях депектинизированный свековичный жом и целлюлозно-гемицеллюлозный комплекс.

На первом этапе осуществляли извлечение пектина из прессованного свековичного жома, согласно установленным ранее режимам [22]. Для этого прессованный свековичный жом, полученный на Павловском сахарном заводе, измельчали до размера частиц 2 мм. После этого проводили гидролиз-экстракцию пектина при значении pH 3,0, достигаемого путем подкисления дистиллированной воды соляным буфером – водным раствором с содержанием соляной кислоты 2,5 % и хлорида натрия 2,5 %, температуре 55 °С, постоянном перемешивании с частотой 2 с⁻¹ в течение 3,0 часов. После этого водную фазу отделяли фильтрованием,

а комплекс нерастворимых пищевых волокон отбирали для исследований.

На втором этапе исследовали эффективность гидролизапектиновых веществ депектинизированного свекловичного жома. Для этого депектинизированный свекловичный жом делили на 4 образца. После этого готовили 4 образца экстрагента – с раствором соляной кислоты (Образец 1) и растворами пектиназы при различных дозировках (Образцы 2–4).

Экстрагент 1 готовили подкислением дистиллированной воды до значения pH 3,0 5,0 %-ным соляным буфером, приготовленным из соляной кислоты и хлорида натрия в равной пропорции. Экстрагенты 2–4 готовили путем подкисления дистиллированной воды до значения pH 4,0 20%-ным цитратным буфером, приготовленным из лимонной кислоты и цитрата натрия в равной пропорции, и последующим внесением пектиназы при дозировках: 100, 200 и 300 ед./г СВ свекловичного жома соответственно. Значение pH экстрагента 4,0 обусловлено тем, что при данном значении достигается максимальная активность выбранной для исследований пектиназы (согласно ее паспорту).

Гидролиз-экстрагирование пектиновых веществ проводили при гидромодуле 1 : 4, температуре 55 °С и постоянном перемешивании 120 об/мин в течение 3,0 часов.

Степень гидролиза пектиновых веществ рассчитывали по формуле:

$$C_{\text{гидр.}} = \frac{C_{\text{исх.}} - C_{\text{образца}}}{C_{\text{исх.}}} \times 100, \quad (1)$$

где $C_{\text{исх.}}$ – исходное содержание пектиновых веществ, %;

$C_{\text{образца}}$ – содержание пектиновых веществ в исследуемом образце, %.

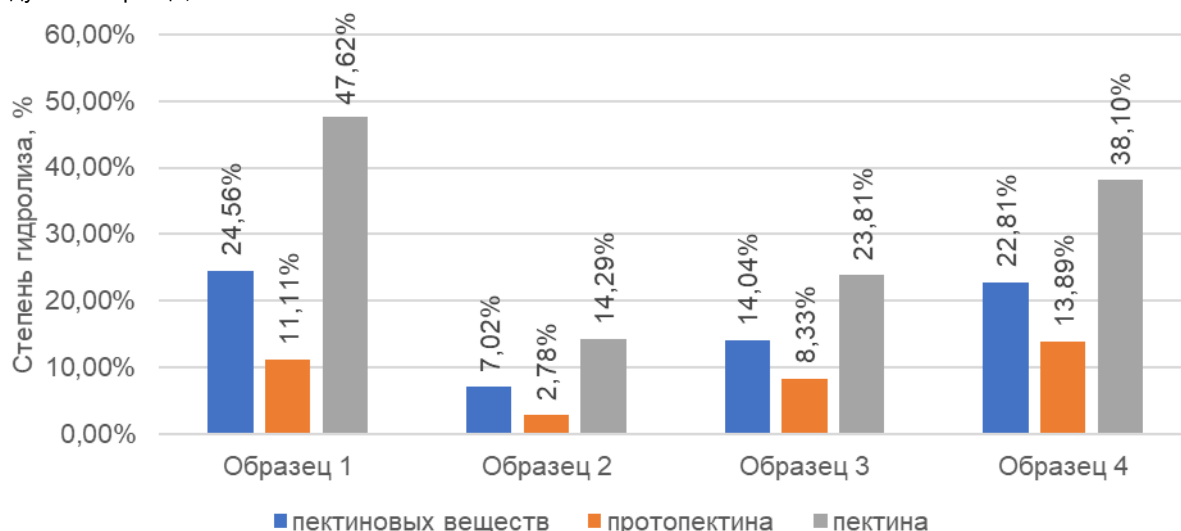


Рисунок 2 – Степень гидролиза пектиновых веществ с применением различных реагентов

Figure 2 – The degree of hydrolysis of pectin substances using various reagents

Из представленных на рисунке 2 данных следует, что процесс гидролиза пектиновых веществ под воздействием соляной кислоты и пектиназы протекает по-разному: соляная кислота в большей степени разлагает пектин, а пектиназа – протопектин. На наш взгляд, это обусловлено тем, что отобранная для исследований пектиназа в большей степени разлагает рамногалактуроновые участки протопектина, а соля-

ная кислота – гомогалактуроновые участки. Тем не менее, в конечном итоге наибольшая степень гидролиза пектиновых веществ обеспечивается при применении соляной кислоты – 24,56 %, в то время как под воздействием пектиназы при дозировке 300 ед./г СВ разлагается 22,81 % пектиновых веществ. Учитывая это, для гидролиза остаточного содержания протопектина следует применять соляную кислоту.

На третьем этапе исследовали эффективность удаления лигнина из депектинизированного жома. Предварительно проведенными исследованиями установлены оптимальные режимы, обеспечивающие гидродинамический режим в системе «жом : раствор перекиси водорода», которые были приняты в качестве постоянных факторов: температура процесса – 25 °С; соотношение жом : раствор перекиси водорода – 1 : 4; частота перемешивания, с⁻¹– 30.

В качестве переменных факторов были выбраны: концентрация раствора перекиси водорода, %, X_1 в диапазоне от 10 до 20 с шагом 5, а также время процесса, минут, X_2 в диапазоне от 20 до 60 с шагом 20.

В качестве функций отклика приняты: Y_1 – содержание лигнина, %, Y_2 – содержание целлюлозы, %, и Y_3 – содержание гемицеллюлоз, %.

Исследование биохимического состава свекловичного прессованного жома и продуктов его биотехнологической и физико-химической трансформации осуществляли согласно общепринятым методам: массовую долю влаги – по ГОСТ 28561-90; массовую долю золы – по ГОСТ 25555.4-91; массовую долю белка – по ГОСТ 26889-86; массовую долю пектиновых веществ – по ГОСТ 29059-91; массовую долю целлюлозы и гемицеллюлоз – согласно Ермакову А.И. и др. (Методы биохимического исследования растений, 1987); массовую долю лигнина по ГОСТ 26177-84; массовую долю пищевых волокон как сумму показателей массовой доли пектина, протопектина, лигнина, гемицеллюлоз и целлюлозы.

Исследования проводили в двух повторениях, полученные данные усредняли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 2 представлена степень гидролиза пектиновых веществ с применением различных реагентов.

ная кислота – гомогалактуроновые участки. Тем не менее, в конечном итоге наибольшая степень гидролиза пектиновых веществ обеспечивается при применении соляной кислоты – 24,56 %, в то время как под воздействием пектиназы при дозировке 300 ед./г СВ разлагается 22,81 % пектиновых веществ. Учитывая это, для гидролиза остаточного содержания протопектина следует применять соляную кислоту.

ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗНОГО КОМПЛЕКСА ИЗ ДЕПЕКТИНИЗИРОВАННОГО СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА

В табл. 1 приведены данные по влиянию режимов обработки депектинизированного свекловичного жома перекисью водорода на содержание лигнина, целлюлозы и гемицеллюлоз.

Полученные данные подтверждают данные из литературных источников, что перекись водорода практически не гидролизует целлюлозу и гемицеллюлозы, а эффективно гидролизует лигнин.

Таблица 1 – Влияние режимов обработки депектинизированного свекловичного жома перекисью водорода на содержание лигнина, целлюлозы и гемицеллюлоз

Table 1 – Effect of the modes of processing depectinized sugar beet pulp with hydrogen peroxide on the content of lignin, cellulose and hemicelluloses

Концентрация перекиси водорода, % (X_1)	Время процесса, минут (X_2)	Содержание лигнина, % (Y_1)	Содержание целлюлозы, % (Y_2)	Содержание гемицеллюлоз, % (Y_3)
10	20	0,1300	3,80	2,40
10	40	0,0580	3,80	2,39
10	60	0,0240	3,79	2,38
15	20	0,1020	3,78	2,39
15	40	0,0170	3,79	2,39
15	60	0,0100	3,78	2,39
20	20	0,0140	3,79	2,38
20	40	0,0100	3,78	2,37
20	60	0,0090	3,77	2,37

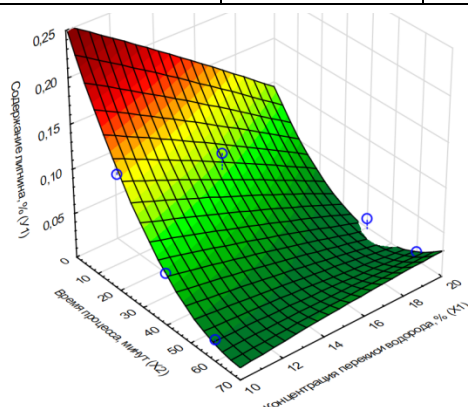


Рисунок 3 – Влияние режимов обработки депектинизированного свекловичного жома перекисью водорода на содержание лигнина

Figure 3 – Effect of the modes of processing depectinized sugar beet pulp with hydrogen peroxide on the content of lignin

Учитывая это, дальнейшую математическую обработку данных проводили только по влиянию режимов обработки депектинизированного свекловичного жома перекисью водорода на содержание лигнина.

На рисунке 3 представлена графическая интерпретация данных по влиянию режимов обработки депектинизированного свекловичного жома перекисью водорода на содержание лигнина.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила вывести уравнение, описывающее влияние режимов обработки депектинизированного свекловичного жома перекисью водорода на содержание лигнина (2):

$$Y_1 = 0,3983 - 0,0135 \cdot X_1 - 0,0094 \cdot X_2 - 8,67 \cdot 10^{-5} \cdot X_1^2 + 0,0003 \cdot X_1 \cdot X_2 + 4,95 \cdot 10^{-5} \cdot X_2^2 \quad (2)$$

Для подтверждения адекватности полученного уравнения был проведен анализ его качества.

Показатель коэффициента детерминации R^2 составил 0,945, что свидетельствует о высоком соответствии модели экспериментальным данным. Скорректированный коэффициент детерминации $R_{\text{корр.}}^2$ составил 0,857, что также подтверждает адекватность модели.

В таблице 2 приведена статистическая значимость коэффициентов уравнения 1.

Таблица 2 – Статистическая значимость коэффициентов уравнения 1

Table 2 – Statistical significance of the coefficients of the equation 1

Переменная	Коэффициент	t-статистика	p-значение	Интерпретация
Константа	0,3983	3,18	0,050	Погранично значима
X_1	-0,0135	-0,88	0,443	Не значима
X_2	-0,0094	-3,35	0,044	Значима
X_1^2	$-8,67 \cdot 10^{-5}$	-0,18	0,872	Не значима
$X_1 \cdot X_2$	0,0003	2,89	0,063	Погранично значима
X_2^2	$4,95 \cdot 10^{-5}$	1,61	0,206	Не значима

Из представленных в таблице 2 данных следует, что наиболее существенное влияние на выходную переменную оказывают факторы константы, X_2 и $X_1 \cdot X_2$. Вклад факторов X_1 , X_1^2 и X_2^2 статистически незначим, однако при упрощении модели за счёт их исключения значительно снижались показатели коэффициента детерминации и скорректированного коэффициента детерминации, поэтому в конечном уравнении факторы оставили.

По результатам расчёта F-критерия Фишера, составившего $F = 10,22$ при $p = 0,042$, установлено, что совокупное влияние факторов статистически значимо, что позволяет признать полученное математическое уравнение регрессии адекватным в целом.

В результате решения задачи оптимизации уравнения 1, заключающемся в поиске локального экстремума функции, установлено, что полный гидролиз лигнина обеспечивается при концентрации

раствора перекиси водорода 19,5 % и времени процесса 45 минут. При этом перекись водорода практически не оказывает влияние на содержание целлюлозы и гемицеллюлоз в депектинизированном свекловичном жоме.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований выявлены закономерности удаления пектиновых веществ и лигнина из депектинизированного свекловичного жома путем его обработки с применением соляной кислоты, пектиназы и перекиси водорода.

Установлено, что наибольшая степень разложения пектиновых веществ депектинизированного свекловичного жома обеспечивается при применении соляной кислоты – 24,56 %.

Установлено, что полный гидролиз лигнина в депектинизированном свекловичном жоме обеспечивается при концентрации раствора перекиси водорода 19,5 % и времени процесса 45 минут.

Полученные результаты создают предпосылки к разработке технологии трансформации свекловичного жома, позволяющей извлечь формирующие его химический состав пищевых ингредиентов при их максимальном выходе и высоком качестве, имеет научную новизну и практическую значимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донченко Л.В. Фирсов Г.Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. М. : ДеЛи принт, 2005. 276 с.
2. Ильина И.А., Причко Т.Г., Дрофичева Н.В. [и др.]. Технологии производства продуктов здорового питания из растительного сырья. Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2018. 315 с.
3. Донченко Л.В. Анализ современного рынка пектина и пектинопродуктов. Сахар. 2019. № 8. С. 50–53.
4. Moslemi M. Reviewing the recent advances in application of pectin for technical and health promotion purposes : From laboratory to market. Carbohydrate Polymers, 2020; 254: 117324.
5. Петрова Ж.О. Связывание ионов металлов функциональными пребиотическими порошками. Пищевая промышленность : Наука и технологии. 2017. № 1. С. 17–21.
6. Аверьянова Е.В., Митрофанов Р.Ю. Пектин. Получение и свойства. Бийск, 2006. 59 с.
7. Гранкина Н.А., Черемисов Д.Д., Тыщенко Ю.В. [и др.]. Особенности получения свекловичного пектина. Colloquium-Journal. 2021. № 15–1(102). С. 75–77.
8. Алексеев Г.В., Пальчиков А.Н., Нестеренко И.Г. Совершенствование процесса выделения пектина путем гидратации сырья в ультразвуковом поле. Ползуновский вестник. 2019. № 3. С. 52–55.
9. Abou-Elseoud W.S., Hassan E.A., Hassan M.L. Extraction of pectin from sugar beet pulp by enzymatic and ultrasound-assisted treatments. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 2021; 2: 100042.
10. Зелепукин Ю.И., Зелепукин С.Ю., Федорук В.А. [и др.]. К вопросу производства пектина из свекловичного жома. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 2 (68). С. 238–242.
11. Донченко Л.В., Темников А.В., Ковалева С.Е. Характеристика свекловичного пектина как студнеобразователя. Сахар. 2022. № 9. С. 44–48.
12. Кондратенко В.В., Федотова О.Б., Агаркова Е.Ю. Применение пектинов из различных биоресурсов для модификации структурно-механических свойств кисломолочных продуктов. Молочная промышленность. 2024. № 5. С. 15–21.

13. Щетинина Е.М. Применение пектина для производства мягких сыров на основе козьего молока. Ползуновский вестник. 2019. № 2. С. 51–54.

14. Пат. 2580884 РФ. Способ получения пектина и целлюлозы из свекловичного жома / Ревин В.В., Пестов Н.А. БИМП 10.04.2016.

15. Xu R., Doskaliuk N., Pang B. [et al.]. Hemicellulose from mild extraction of biomass: Revealing structural insights and advancing potential value. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 2025; 10: 100843.

16. Sun S.-L., Wen J.-L., Ma M.-G. Successive alkali extraction and structural characterization of hemicelluloses from sweet sorghum stem. Carbohydrate Polymers, 2013; 92: 2224–2231.

17. Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В. [и др.]. Древесина как химическое сырье. История и современность. V. Древесная целлюлоза как природное полимерное сырье. Часть I. Лесной вестник. 2023. Т. 27, № 3. С. 128–142.

18. Хакимова Ф.Х., Носкова О.А., Хакимов Р.Р. [и др.]. Комплексная утилизация лигносодержащих древесных отходов. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 3 (399). С. 188–202.

19. Zhang C., Wang Y., Lv Y. [et al.]. Influence of pectin domains and protein on the viscosity and gelation properties of alkali-extracted pectin from green tea residue. Food Chemistry, 2024; 430: 137039.

20. Семенихин С.О., Фабрицкая А.А., Городецкий В.О. [и др.]. Влияние степени измельчения свекловичного прессованного жома, полученного при различных способах подготовки экстрагента, на эффективность извлечения пектина. Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2022. № 6. С. 80–84.

21. Семенихин С.О., Фабрицкая А.А., Городецкий В.О. [и др.]. Исследование эффективности извлечения пектина из свекловичного прессованного жома с применением целлюлазы и ксиланазы. Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2023. №1. С. 43–47.

22. Семенихин С.О., Фабрицкая А.А., Городецкий В.О. [и др.]. Сравнительная оценка эффективности химической и ферментативной гидролиз-экстракции пектина из прессованного свекловичного жома. Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2025. № 7. С. 299–312.

23. Донченко Л.В., Фирсов Г.Г., Красносельова Е.А. Особенности процесса гидролиза протопектина из растительной ткани. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 1. С. 288–297.

24. Li J., Zhou P., Liu H. Synergism of cellulase, xylanase, and pectinase on hydrolyzing sugarcane bagasse resulting from different pretreatment technologies. Bioresource Technology, 2014; 155: 258–265.

25. Ninga K.A., Desobgo Z.S.C., De S. [et al.]. Pectinase hydrolysis of guava pulp: effect on the physicochemical characteristics of its juice. Heliyon, 2021; Vol. 7, Iss.10: e08141.

26. Бенько Е.М., Чухчин Д.Г., Мамлеева Н.А. [и др.]. Озонолитическая делигнификация соломы пшеницы. Журнал физической химии. 2020. Т. 94, № 8. С. 1153–1160.

27. Пат. 2321696 РФ. Способ получения целлюлозы / Вураско А.В., Дрикер Б.Н., Мозырева Е.А., Галимова А.Р. БИМП 10.04.2008.

28. Liu K.-X., Li H.-Q., Zhang J. [et al.]. The effect of non-structural components and lignin on hemicellulose extraction. Bioresource Technology, 2016; 214: 755–760.

Информация об авторах

С. О. Семенихин – канд. техн. наук, заведующий отделом технологии сахара и сахаристых продуктов КНИИХП – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ.

А. А. Фабрицкая – младший научный сотрудник отдела технологии сахара и сахаристых продуктов КНИИХП – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Н. М. Даишева – канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела технологии сахара и

ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗНОГО КОМПЛЕКСА ИЗ ДЕПЕКТИНИЗИРОВАННОГО СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА

сахаристых продуктов КНИИХП – филиала ФГБНУ
СКФНЦСВВ.

REFERENCES

1. Donchenko, L.V., Firsov, G.G. Pectin: Basic Properties, Production and Applications. Moscow, 2005. 276 p. (In Russ.).
2. Ilyina, I.A., Prichko, T.G., Droficheva, N.V. [et al.]. Technologies for the production of healthy food products from plant materials. Krasnodar : OOO Prosveshchenie-Yug, 2018. 315 p.
3. Donchenko, L.V. Analysis of the modern market of pectin and pectin products. Sugar, 2019; 8: 50-53. (In Russ.).
4. Moslemi, M. Reviewing the recent advances in application of pectin for technical and health promotion purposes: From laboratory to market. Carbohydrate Polymers, 2020; 254: 117324.
5. Petrova, Zh.O. Binding of heavy metal ions by means of functional prebiotic powders. Food Industry: Science and Technology, 2017; 1: 17-21. (In Russ.).
6. Averjanova, E.V., Mitrofanov, R.Ju. Pectin. Production and properties. Bijsk, 2006. 59 p. (In Russ.).
7. Grankina, N.A., Cheremisov, D.D., Tyshchenko, Yu.V. The features of beet pectin producing. Colloquium-Journal, 2021; 15-1(102): 75-77. (In Russ.).
8. Alekseyev, G.V., Palchikov, A.N., Nesterenko, I.G. Sovershenstvovaniye protsessa vydeleniya pektina putem gidratatsii syrya v ultrazvukovom pole. Polzunovskiy vestnik. 2019; 3: 52-55. (In Russ.).
9. Abou-Elseoud, W.S., Hassan, E.A., Hassan, M.L. Extraction of pectin from sugar beet pulp by enzymatic and ultrasound-assisted treatments. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 2021; 2: 100042.
10. Zelepukin, Yu.I., Zelepukin, S.Yu., Fedoryuk, V.A. [et al.]. To the question of production of pectin from beet pulp. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies, 2016; (2): 238-242. (In Russ.).
11. Donchenko, L.V., Temnikov, A.V., Kovaleva, S.E. Characteristics of beet pectin as a gelling agent. Sugar, 2022; 9: 44-48. (In Russ.).
12. Kondratenko, V.V., Fedotova, O.B., Agarkova, E.Yu. Modifying structural and mechanical properties of fermented dairy products with various biological pectins. Dairy industry, 2024; 5: 15-21. (In Russ.).
13. Shchetinina YE.M. Primneniye pektina dlya proizvodstva myagkikh syrov na osnove kozyego moloka. Polzunovskiy vestnik. 2019; 2: 51-54. (In Russ.).
14. Revin V.V., Pestov N.A. Method for obtaining pectin and cellulose from beet pulp. Pat. 2580884 RU. Inventions. Utility models. 10.04.2016. (In Russ.).
15. Xu, R., Doskaliuk, N., Pang, B. [et al.]. Hemicellulose from mild extraction of biomass: Revealing structural insights and advancing potential value. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 2025; 10: 100843.
16. Sun, S.-L., Wen, J.-L., Ma, M.-G. Successive alkali extraction and structural characterization of hemicelluloses from sweet sorghum stem. Carbohydrate Polymers, 2013; 92: 2224-2231.
17. Kononov, G.N., Verevkin, A.N., Serdyukova, Yu.V. [et al.]. Wood as a chemical raw material. History and modernity. V. Wood as chemical raw material. History and modernity V. Wood pulp as natural polymer raw material. Part I. Forestry Bulletin, 2023; Vol. 27, 3: 128-142. (In Russ.).
18. Khakimova, F.Kh., Noskova, O.A., Khakimov, R.R. [et al.]. Integrated recycling of lignin-containing wood waste. Russian forestry journal, 2024; 3 (399): 188-202. (In Russ.).
19. Zhang, C., Wang, Y., Lv, Y. [et al.]. Influence of pectin domains and protein on the viscosity and gelation properties of alkali-extracted pectin from green tea residue. Food Chemistry, 2024; 430: 137039.
20. Semenikhin, S.O., Fabritskaya, A.A., Gorodetskiy, V.O. [et al.]. Effect of the degree of grinding of beet pressed pulp obtained by various methods of preparation of the extractant on the efficiency of pectin extraction. Food Technology, 2022; 6: P. 80-84. (In Russ.).
21. Semenikhin, S.O., Fabritskaya, A.A., Gorodetskiy, V.O. [et al.]. Study of the efficiency of extraction of pectin from pressed beet pulp with cellulase and xylanase. Food Technology, 2023; 1: 43-47. (In Russ.).
22. Semenikhin, S.O., Fabritskaya, A.A., Daisheva, N.M. Comparative assessment of the efficiency of chemical and enzymatic hydrolysis-extraction of pectin from pressed beet pulp. Bulletin KrasSAU, 2025; 7: 299-312. (In Russ.).
23. Donchenko, L.V., Firsov, G.G., Krasnoselova, E.A. Features of the process of protopectin hydrolysis from plant tissue. Proceedings of the Kuban State Agrarian University, 2006; 1: 288-297.
24. Li, J., Zhou, P., Liu, H. Synergism of cellulase, xylanase, and pectinase on hydrolyzing sugarcane bagasse resulting from different pretreatment technologies. Bioresource Technology, 2014; 155: 258-265.
25. Ninga, K.A., Desobgo, Z.S.C., De, S. [et al.]. Pectinase hydrolysis of guava pulp: effect on the physicochemical characteristics of its juice. Heliyon, 2021; Vol.7, Iss.10: e08141.
26. Benko, E.M., Chukhchin, D.G., Mamleyeva, N.A. [et al.]. Ozonolytic delignification of wheat straw. Journal of Physical Chemistry, 2020; Vol. 94, No. 8: 1153-1160. (In Russ.).
27. Vurasko, A.V., Driker, B.N., Mozyreva, YE.A., Galimova, A.R. Method for obtaining cellulose. Pat. 2321696 RU. Inventions. Utility models. 10.04.2008. (In Russ.).
28. Liu, K.-X., Li, H.-Q., Zhang, J. [et al.]. The effect of non-structural components and lignin on hemicellulose extraction. Bioresource Technology, 2016; 214: 755-760.

Information about the authors

S.O. Semenikhin - Cand. Tech. Sc., Head of the Department of Sugar and Sugar Products Technology, KRIISP - branch of the FSBSI NCFSCHVW.

A.A. Fabritskaya - Junior Researcher, Department of Sugar and Sugar Products Technology, KRIISP - branch of the FSBSI NCFSCHVW.

N.M. Daisheva - Cand. Tech. Sc., Senior Researcher, Department of Sugar and Sugar Products Technology, KRIISP - branch of the FSBSI NCFSCHVW.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 декабря 2025; одобрена после рецензирования 24 апреля 2026; принята к публикации 18 мая 2026.

The article was received by the editorial board on 17 Dec 2025; approved after editing on 24 Apr 2026; accepted for publication on 18 May 2026.