



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 636.087.25

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.002



ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЩЕЛОЧНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ПОДСОЛНЕЧНОЙ ЛУЗГИ

Денис Сергеевич Кожемякин ¹, Елена Петровна Каменская ²

^{1,2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ denkzm1998@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4051-569X>

² ekam2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3760-6914>

Аннотация. Исследование посвящено оптимизации параметров щелочной делигнификации подсолнечной лузги, полученной на стадии обрушивания семян при подготовке сырья к извлечению масла. Анализ химического состава подсолнечной лузги выявил значительное содержание лигнина – 26,7 %. В ходе эксперимента изучены различные факторы, влияющие на процесс делигнификации: концентрация гидроокиси натрия (от 1 % до 5 %), размер частиц подсолнечной лузги, температура (20–100 °С), продолжительность обработки (30–90 минут). Установлено, что максимальный выход фракции частиц лузги размером менее 3 мм – 94,30 % достигается при оптимальной продолжительности измельчения подсолнечной лузги в течение 20 с на лабораторной мельнице ЛЦМ-1М. Показано, что при увеличении размеров частиц более 3 мм концентрация щелочных растворов не оказывает влияния на степень делигнификации. В процессе оптимизации параметров щелочной делигнификации установлено, что наиболее эффективным режимом является обработка подсолнечной лузги с размером частиц менее 3-х мм 5 %-ым раствором гидроокиси натрия при температуре 80 °С в течение 60 минут. Данные условия позволяют добиться не только высокой степени делигнификации (97 %) лузги, но и сохранить значительную часть клетчатки – 22,84 %. Результаты проведенных экспериментов представляют научный интерес в дальнейшей работе по использованию делигнифицированной лузги в качестве субстрата для ферментализации, позволяющие получить гидролизаты с высоким выходом сбраживаемых сахаров.

Ключевые слова: вторичные сырьевые ресурсы, клетчатка, лигнин, подсолнечная лузга, щелочная делигнификация.

Для цитирования: Кожемякин Д. С., Каменская Е. П. Оптимизация параметров щелочной делигнификации подсолнечной лузги // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 13–18. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.002. EDN: <https://elibrary.ru/GSZLXT>.

Original article

OPTIMIZATION OF SUNFLOWER HUSKALKALINE DELIGNIFICATION PARAMETERS

Denis S. Kozhemyakin ¹, Elena P. Kamenskaya ²

^{1,2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ denkzm1998@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4051-569X>

² ekam2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3760-6914>

Abstract. The study is focused on optimizing alkaline delignification parameters for sunflower husks obtained during the seed hulling stage of preparing the raw material for oil extraction. Analysis of the sunflower husk chemical composition showed significant lignin levels (26.7 %). During the experiment, various factors which influence the delignification process, namely sodium hydroxide concentration (1 % to 5 %), sunflower husk particle size, temperature (20–100 °C) and processing time (30 to 90 minutes) were studied. It was observed that the maximum fraction output of husk particles less than 3 mm in size amounted to 94.30% and was reached with the optimal sunflower husk milling time of 20 s using the ЛЦМ-1М experimental mill. It was demonstrated that alkaline solution concentration did not influence the degree of delignification when particle size exceeded 3 mm. While

© Кожемякин Д. С., Каменская Е. П., 2025

optimizing the alkaline delignification parameters, the most effective mode was determined to be the treatment of sunflower husks with particle size less than 3 mm with a 5 % sodium hydroxide solution at 80 °C for 60 minutes. These conditions provide for both a high husk delignification degree (97 %) and conservation of a significant part of the fiber retained (22,84 %). The experimental findings are of scientific interest for further work involving the use of delignified husks as a medium for enzymolysis, which produces hydrolizates with a high output of fermented sugars.

Keywords: recyclable raw materials, fiber, lignin, sunflower husks, alkaline delignification.

For citation: Kozhemyakin, D.S. & Kamenskaya, E.P. (2025). Optimization of sunflower husk alkaline delignification parameters. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 13-18. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.002. EDN: <https://elibrary.ru/GSZLXT>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует тенденция увеличения мирового спроса на продукты переработки семян подсолнечника, поэтому его посевные площади ежегодно увеличиваются, а валовый сбор семян растёт. Российская Федерация является одной из стран-лидеров по объемам выращивания и переработки семян подсолнечника. Так, в 2024 году подсолнечник подтвердил статус маргинальных культур в России. По данным Росстата, в 2024 году валовой сбор семян подсолнечника в РФ составил 16,5 млн тонн, что привело к накоплению до 2,3–4,0 млн тонн лузги. Стоит также отметить, что за последние 10 лет сборы семян подсолнечника увеличились на 95,4 % (на 8 093,4 тыс. тонн).

Главной масличной культурой в нашей стране является подсолнечник однолетний (*Helianthus annuus* L.), основная масса которого поступает на маслоэкстракционные предприятия. Так, по данным Росстата, в 2024 году было произведено около 8 млн тонн подсолнечного масла, что на 11,7 % выше показателя 2023 года.

При этом на маслоэкстракционных предприятиях существует проблема накопления большого количества отходов подсолнечного производства из-за отсутствия эффективных технологий их переработки и утилизации. В процессе получения масла как пресовым, так и экстракционным способом образуется большое количество вторичного сырья и отходов, таких как подсолнечный жмых, шрот, лузга, требующих своевременной реализации, переработки и/или утилизации. Шрот и жмых представляют собой сырьё с повышенным содержанием белка, в связи с чем активно применяются в кормлении сельскохозяйственных животных. В отличие от жмыха и шрота лузга характеризуется практически полным отсутствием протеина и высоким содержанием клетчатки, которая снижает эффективность её применения в кормовых целях [1, 2].

Лузга подсолнечника является крупнотоннажным источником вторичного сырья, её выход зависит от технологии переработки масла и от сорта подсолнечника, например, при экстракционном способе обрушивается примерно 14–25 кг лузги с каждых 100 кг семян [3].

В настоящее время существует множество промышленных направлений переработки лузги подсолнечника [4–7], которые, однако, не позволяют полностью переработать этот ценный ресурс растительного происхождения в экономически выгодные продукты, что приводит к её накоплению. С экономической точки зрения вывоз лузги на мусорные полигоны нецелесообразен, поскольку сопряжен с определенными затратами, влияющими на себестоимость готовой продукции [1]. С точки зрения экологии вывоз на полигоны также нерационален, поскольку данные отходы относятся к четвертому и пятому классам опасности. Складирование подсолнечной лузги также сопряжено с выделением тепла при хранении и опасностью её возгорания. Лузжистость

семян подсолнечника в зависимости от сортовых особенностей колеблется в пределах 22,5–30,0 %, что вкупе с низкой объемной массой требует наличия больших площадей для хранения, а также обуславливает сложности, возникающие при её транспортировке [8]. Данный вопрос легко решается путем сжигания лузги в печах котельных маслоэкстракционных предприятий. Однако стоит учитывать, что такой способ утилизации сопровождается выбросами значительного количества диоксида углерода в атмосферу, а также требует наличия оборудования для предварительного уплотнения подсолнечной лузги [8, 9].

Подсолнечная лузга содержит значительное количество лигнина, целлюлозы, гемицеллюлозы, она является ценным сырьём для получения кормовых дрожжей, ацетона, биогаза, кормовых добавок, удобрений и других продуктов [8, 10–13]. Один из наиболее часто применяемых способов биологической конверсии лузги – использование в качестве мелиоранта почв или мульчи под различные овощные культуры. Кроме того, лузга применяется при выращивании базидиомицетов, таких как вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*) и шампиньон двуспоровый (*Agaricus bisporus*) [9].

Поскольку подсолнечная лузга характеризуется высоким содержанием клетчатки – 52,0–66,0 %, а на целлюлозу приходится 31,0–42,4 %, это делает её перспективным сырьём для применения в гидролизной промышленности. Полученные гидролизаты используются, например, для производства гидролизного спирта фурфурола или в качестве субстрата для культивирования микроорганизмов [8, 12, 13].

Среди всех известных методов гидролиза следует особо выделить ферментативный, так как ферменты за счет своего целенаправленного воздействия на определенные компоненты лузги, могут обеспечивать максимальную деструкцию клетчатки. Однако имеются негативные факторы, оказывающие значительное влияние на ферментацию, к ним относится высокое содержание лигнина в сырье – 24,8–29,6 % [8, 14].

Лигнин – сложный природный полимер, входящий в состав почти всех наземных растений, составляющий около 30 % органического углерода в биосфере и являющийся вторым по распространенности биополимером лигноцеллюлозной биомассы после целлюлозы. Его наличие может оказывать весомое влияние на активность ферментов и ферментных препаратов (ФП), например, ингибировать целлюлолитические ФП и, как следствие, приводить к снижению выхода целевых компонентов, получаемых в процессе гидролиза. В связи с этим требуется проведение предварительной обработки сырья – делигнификации. Для этой цели наилучшим образом подходит щелочной способ, так как имеет ряд преимуществ. В первую очередь это связано с тем, что щелочные растворы в отличие от кислот или влаго-

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЩЕЛОЧНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ПОДСОЛНЕЧНОЙ ЛУЗГИ

тепловой обработки обеспечивают максимальную эффективность удаления лигнина при минимальной деструкции целлюлозы. Объясняется данный эффект разрывом эфирных связей в лигнине, а также отщеплением и переходом в раствор части фенилпропановых звеньев под воздействием щелочей. Кроме того, к достоинствам можно отнести простоту способа и дешевизну реактивов [15, 16]. Известно также, что делигнификация лузги в присутствии 1 %-го раствора NaOH с последующей ферментативной обработкой позволяет получить гидролизат с высоким содержанием редуцирующих веществ [15, 17].

В связи с этим, с целью повышения активности ферментных препаратов в процессе ферментализации подсолнечной лузги актуальным направлением исследований в области переработки растительного сырья является поиск новых способов и условий щелочной делигнификации.

Цель данного исследования – оптимизация параметров щелочной делигнификации подсолнечной лузги, обеспечивающих максимальную степень удаления лигнина из сырья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для экспериментальных исследований использовали лузгу, отобранную в процессе обрушивания семян подсолнечника при подготовке сырья к извлечению масла на Барнаульском маслоэкстракционном заводе (БМЭЗ, г. Барнаул). Опытная лузга имела следующие характеристики: влажность – 9,91 %; массовая доля сырого жира – 4,3 % (абс. сухое вещество); массовая доля сырой клетчатки – 54,78 % (абс. сухое вещество); массовая доля сырого протеина – 2,15 % (абс. сухое вещество); массовая доля лигнина – 26,70 % (абс. сухое вещество).

Нативная подсолнечная лузга состояла из трех фракций, имеющих размеры: более 6 мм (66,9 %); от 3 до 6 мм (23,0 %); менее 3 мм (10,1 %). Размол лузги осуществляли на лабораторной мельнице ЛЦМ-1М. Для проведения щелочной делигнификации лузгу смешивали с водными растворами NaOH различных

концентраций (1–5 %) в соотношении 1:9. Полученные суспензии настаивали на водяной бане при различных температурах в диапазоне от 20 °С до 100 °С в течение 30, 60 и 90 минут, после чего осуществляли отделение твердой части от растворенных компонентов.

Для выполнения задач исследования были определены следующие физико-химические показатели:

- массовая доля влаги путем высушивания до постоянной массы;
- массовая доля сырой клетчатки путем последовательной обработки лузги кислотными и щелочными растворами с последующим озолением и количественным определением органического остатка весовым методом;
- массовая доля сырого протеина методом Кьельдаля;
- массовая доля сырого жира методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР);
- массовая доля лигнина, определяемая при помощи 72 %-ой серной кислоты в модификации Комарова;
- степень делигнификации рассчитывали как отношение массы удаленного лигнина к массе лигнина в исходном сырье;
- фракционный состав определялся при помощи системы сит.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для осуществления процесса щелочной делигнификации применялись растворы NaOH с концентрациями от 1 % до 5 %. С целью предварительной оценки образцы лузги трех фракций, имеющие разный размер частиц, подвергали щелочной делигнификации на водяной бане при температуре 80 °С в течение одного часа. Зависимость степени щелочной делигнификации от концентрации NaOH и размера частиц приведена на рисунке 1.

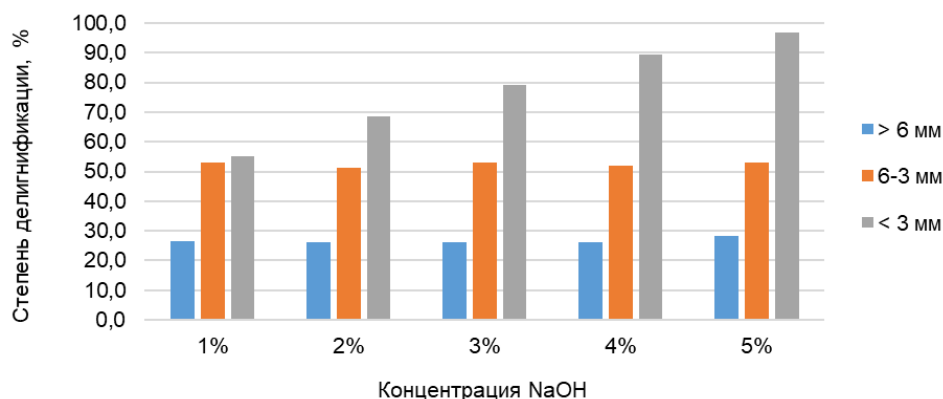


Рисунок 1 – Зависимость степени щелочной делигнификации от размера частиц и концентрации NaOH

Figure 1 – Variation in the degree of alkaline delignification with respect to particle size and NaOH concentration

Согласно данным, представленным на рисунке 1, в образцах с размером частиц менее 3 мм, степень делигнификации возрастает с увеличением концентрации раствора NaOH и достигает максимального результата – 97,0 % при использовании 5 %-го раствора щелочи. При увеличении размеров частиц более 3 мм концентрация щелочных растворов не ока-

зывает влияния на степень делигнификации. В образцах лузги с размером частиц от 3 до 6 мм степень делигнификации составила в среднем 52 %, а в образцах с размером частиц более 6 мм – 27 %. Связать это можно с тем, что подсолнечная лузга имеет низкую насыпную плотность, которая увеличивается при уменьшении размеров частиц.

Для увеличения количества частиц, фракционного состава менее 3-х мм на следующем этапе была проведена оптимизация продолжительности процесса измельчения. Подсолнечную лузгу измельчали в

течение 1–20 с, с последующим определением фракционного состава. Результаты фракционного состава лузги при различной продолжительности измельчения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Фракционный состав измельченной подсолнечной лузги

Table 1 – Fractional makeup of the milled sunflower husks

Продолжительность измельчения, с	Размер частиц, мм		
	>6 мм	3–6 мм	< 3 мм
	Содержание частиц, %		
1	32,50	57,35	10,15
5	10,40	25,60	64,00
10	6,10	16,60	77,30
15	0,80	10,30	88,90
20	0,00	5,70	94,30

По данным таблицы 1 видно, что, лучший результат достигается при измельчении подсолнечной лузги в течение двадцати секунд, что обеспечивает получение 94,30 % частиц размером менее 3-х мм. Дальнейшее измельчение нецелесообразно, так как приводит к образованию большого количества масляной пыли.

На следующем этапе исследования было изучено влияние температуры и продолжительности

процесса на эффективность делигнификации. Подсолнечную лузгу с размером частиц менее 3-х мм смешивали при гидромодуле 1:9 с оптимальной концентрацией NaOH – 5 %-ым раствором и настаивали на водяной бане в течение 30, 60 и 90 минут при диапазоне температур от 20 °C до 100 °C. Зависимость степени делигнификации от температуры и продолжительности процесса представлена на рисунке 2.

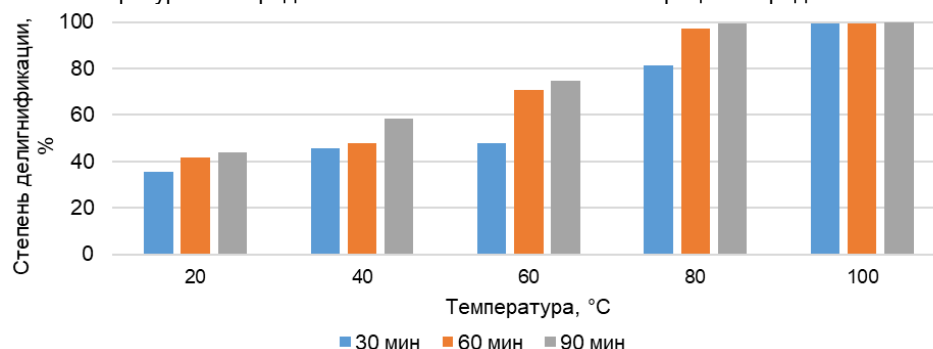


Рисунок 2 – Зависимость степени делигнификации от температуры и продолжительности процесса

Figure 2 – Variation in the degree of delignification with respect to temperature and processing time

Результаты исследований, приведенные на рисунке 2, показали прямопропорциональную зависимость степени делигнификации от температуры, а именно: с увеличением температуры данный показатель непрерывно возрастал. Кроме того, увеличение продолжительности нагрева позволяет интенсифицировать данный процесс, например, при температуре 80 °C степень делигнификации достигает 97,0 % за 60 минут, а при 100 °C – 99,24 % за 30 минут.

Несмотря на высокую эффективность, нельзя не учитывать влияние данных параметров на другие составляющие подсолнечной лузги. Известно, что при воздействии высоких температур вследствие щелочной

обработки возможна как полная, так и частичная деструкция таких компонентов, как клетчатка, сырой протеин, массовая доля сырого жира, золы и др. Особую важность представляет содержание основного компонента частиц лузги – клетчатки, состоящей из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Причем содержание лигнина в клетчатке достигает до 30 %. Для оценки этого влияния на заключительном этапе был осуществлен анализ отобранных образцов и сравнение их состава с исходной подсолнечной лузгой без делигнификации (контроля). Результаты сравнения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химический состав образцов подсолнечной лузги

Table 2 – Physico-chemical composition of sunflower husk samples

Наименование показателя	Контроль	Условия делигнификации	
		80 °C, 60 мин	100 °C, 30 мин
Массовая доля гигроскопической влаги, %	7,22 ± 1,28	7,12 ± 1,24	12,93 ± 1,57
Массовая доля сырой клетчатки, % (а.с.в.)	54,78 ± 3,66	22,84 ± 2,06	7,64 ± 1,30
Массовая доля лигнина, % (а.с.в.)	26,70 ± 2,26	0,80 ± 0,28	0,20 ± 0,17
Массовая доля сырого жира, % (а.с.в.)	4,30 ± 1,14	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01
Массовая доля сырой золы, % (а.с.в.)	1,26 ± 0,98	1,35 ± 0,99	1,10 ± 0,98
Массовая доля сырого протеина % (а.с.в.)	2,15 ± 1,03	1,02 ± 0,49	1,00 ± 0,47

Согласно результатам, представленным в таблице 2, использование режима щелочной делигнификации при температуре 100 ° в течение 30 минут позволяет значительно сократить количество лигнина до 0,2 %, а режима (80 °С, 60 минут) – до 0,8 %. Проведение щелочной предобработки в обоих случаях приводит к сокращению массовой доли сырого жира и сырого протеина. Следует отметить, что условия (100 °С, 30 минут) проведения делигнификации существенно влияют на показатель массовой доли сырой клетчатки, содержание которой сократилось в 7 раз по сравнению с контролем и в дальнейшем может привести к понижению выхода редуцирующих веществ при проведении гидролиза. Щелочная делигнификация при температуре 80 °С не только способствует практически полному удалению лигнина, но также обеспечивает достаточно высокую сохранность клетчатки – 22,84 %.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования установлена оптимальная продолжительность измельчения подсолнечной лузги – 20 с на лабораторной мельнице ЛЦМ-1М для увеличения фракции частиц лузги размером менее 3 мм до 94,30 %.

Показано, что при увеличении размеров частиц более 3 мм концентрация щелочных растворов не оказывает влияния на степень делигнификации.

В процессе оптимизации параметров щелочной делигнификации подсолнечной лузги было установлено, что наилучший результат достигается при использовании 5 %-го раствора гидроокиси натрия, температурном режиме 80 °С и продолжительности процесса 60 минут. Данные условия позволяют добиться не только высокой степени делигнификации (97 %), но и сохранить значительную часть клетчатки – 22,84 %.

Результаты проведенных экспериментов представляют научный интерес в дальнейшей работе по использованию делигнифицированной лузги в качестве субстрата для ферментализации, позволяющие получить гидролизаты с высоким выходом сбраживаемых сахаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заика К.А., Вагапова М.Н., Рожков Н.Н. Перспективы использования отходов маслоэкстракционного производства на основе вторичной переработки лузги подсолнечника // Безопасность городской среды: Материалы VIII Международной научно-практической конференции. Омск. 2021. С. 88–92.
2. Тунцев Д.В., Харьков В.В., Кузнецов М.Г. Переработка лузги подсолнечника в угольные брикеты высокой прочности // Вестник Казанского ГАУ. 2019. № 4(56). С. 86–90.
3. Харьков В.В., Тунцев Д.В., Кузнецов М.Г. Термохимическая переработка лузги подсолнечника // Вестник Казанского ГАУ. 2018. № 4(51). С. 130–134.
4. Osman N.S. Sunflower shell waste as an alternative animal feed / N.S. Osman [et al.] // Materials Today: Proceedings, 2018. Vol. 5. № 10. P. 21905–21910.
5. Кузнецов М.Г. Математическое моделирование конической установки для мокрого измельчения / М.Г. Кузнецов, В.В. Харьков, Н.З. Дубкова // Вестник технологического университета, 2016. Т. 19. № 20. С. 164–166.
6. Технологические приемы биоконверсии лузги

подсолнечника / С.А. Сашенкова, Г.В. Ильина, Д.Ю. Ильин, А.Р. Дашкина // Нива Поволжья, 2020. № 2. С. 52–57.

7. Исламова С.И., Добрынин А.Б. Переработка подсолнечной лузги методом окислительной торрефикации // Химия растительного сырья, 2022. № 1. С. 325–334.

8. Хусид С.Б., Гнеуш А.Н., Нестеренко Е.Е. Подсолнечная лузга как источник получения функциональных кормовых добавок // Научный журнал КубГАУ, 2015. № 107(03). С. 142–155.

9. Сашенкова С.А., Ильина Г.В., Ильин Д.Ю., Дашкина А.Р. Технологические приемы каскадной биоконверсии лузги подсолнечника // Нива Поволжья. 2020. № 2(55). С. 52–57.

10. Robertiello A. Sunflower hulls as a component of feeds // Agricultural Wastes, 1984. V. 10. P. 257–266.

11. Коротков В.Г., Кишкилев С.В., Соловых С.Ю., Антимонов С.В. Получение кормовых экструдатов на основе подсолнечной лузги // Технические науки – от теории к практике. 2013. № 18. С. 124–131.

12. Демина Д.М. Ферментативный гидролиз подсолнечной лузги // Наука и молодежь : Материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Барнаул, 2024. С. 401–403.

13. Ахмедзянова Р.Р., Валеева Р.Т., Тунцев Д.В. Ферментативный гидролиз подсолнечной лузги // Инновационный взгляд развития общества: взгляд молодых ученых : Сборник научных статей 4-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок. Курск, 2023. С. 257–259.

14. Кожемякин Д.С., Каменская Е.П. Анализ вторичной продукции переработки семян подсолнечника // Холодильная техника, инженерные системы и биотехнологии : Сборник тезисов VI Национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 7 ноября 2024 года. С. 148–149.

15. Вистовская В.П., Кожемякин Д.С., Каменская Е.П. Оптимизация параметров ферментализации подсолнечной лузги с использованием методов математического моделирования // Ползуновский вестник. 2025. № 1. С. 103–109.

16. Стокозенко В.Г., Неманова Ю.В., Губина С.М. Влияние щелочно-восстановительных и щелочно-окислительных систем на растворимость лигнина пеньки // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2007. № 5(301). С. 35–38.

17. Вистовская В.П., Демина Д.М. Культивирование дрожжевых грибов на гидролизатах подсолнечной лузги // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Бийск, 2024. С. 235–240.

Информация об авторах

Д. С. Кожемякин – аспирант кафедры технологии бродильных производств и виноделия Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Е. П. Каменская – кандидат биологических наук, доцент кафедры технологии бродильных производств и виноделия Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Zaika, K.A., Vagapova, M.N., Rozhkov, N.N. Prospects for the use of industrial oil extraction waste by recycling sunflower husks. *Urban environment safety: Proceedings of the VIII research to practice conference*. Omsk. 2021. 88-92. (In Russ.).
2. Tuntsev, D.V., Kharkov, V.V., Kuznetsov, M.G. Processing sunflower husk into high strength coal briquettes. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2019.4(56). 86-90. (In Russ.).
3. Kharkov, V.V., Tuntsev, D.V., Kuznetsov, M.G. Thermochemical processing of sunflower husks. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2018.4(51). 130-134. (In Russ.).
4. Osman, N.S. [et al.]. Sunflower shell waste as an alternative animal feed. *Materials Today: Proceedings*. 2018. 5(10). 21905-21910.
5. Kuznetsov, M.G., Kharkov, V.V., Dubkova, N.Z. Mathematical modelling of a cone hydrodynamic plant. *Vestnik of the Technological University*. 2016. 19(20). 164-166. (In Russ.).
6. Sashenkova, S.A., Ilyina, G.V., Ilyin, D.Yu., Dashkina, A.R. Technological methods of bioconversion of sunflower husk. *Niva Povolzhya*. 2020.2. 52-57. (In Russ.).
7. Islamova, S.I., Dobrynin, A.B. Sunflower husk processing through oxidative torrefaction. *Plant raw material chemistry*. 2022.1. 325-334. (In Russ.).
8. Khusid, S.B., Gneush, A.N., Nesterenko, E.E. Sunflower husks as a source for the production of functional feed supplements. *Scientific Journal of KubSAU*. 2015. 107(03). 142-155. (In Russ.).
9. Sashenkova, S.A., Ilyina, G.V., Ilyin, D.Yu., Dashkina, A.R. Technological methods of cascade bioconversion of sunflower husk. *Niva Povolzhya*. 2020.2(55). 52-57. (In Russ.).
10. Robertiello, A. Sunflower hulls as a component of feeds. *Agricultural Wastes*. 1984. 10. 257-266.
11. Korotkov, V.G., Kishkilev, S.V., Solovykh, S.Yu., Antimonov, S.V. Extrudate of fodder based on sunflower husk. *Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike*. 2013. 18. 124-131. (In Russ.).
12. Demina, D.M. Enzymatic hydrolysis of sunflower husks. *Nauka i molodezh: Proceedings of the XXI All-Russia science and technology conference for undergraduate, graduate and postgraduate students and young scientists*. Barnaul. 2024. 401-403. (In Russ.).
13. Akhmedzyanova, R.R., Valeeva, R.T., Tuntsev, D.V. Enzymatic hydrolysis of sunflower husks. *Innovatsionnyi vzglad razvitiia obshchestva: vzglad moodykh uchenykh: Scientific article collection of the 4th All-Russia science conference for advanced developments*. Kursk. 2023. 257-259. (In Russ.).
14. Kozhemyakin, D.S., Kamenskaya, E.P. Analysis of sunflower seed processing reusable waste. *Refrigeration technology, utility systems and biotechnology: Abstract collection of the VI National conference for undergraduate, graduate and postgraduate students and young scientists, Kemerovo, November 7. 2024*. 148-149. (In Russ.).
15. Vistovskaya, V.P., Kozhemyakin, D.S., Kamenskaya, E.P. Optimization of sunflower husk enzymolysis parameters through the use of mathematical modeling methods. *Polzunovskiy vestnik*. 2025. No. 1. P. 103-109. (In Russ.).
16. Stokozenko, V.G., Nemanova, Yu.V., Gubina, S.M. The effect of alkali reduction and oxidation systems on industrial hemp lignin solubility. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology*. 2007. 5(301). 35-38. (In Russ.).
17. Vistovskaya, V.P., Demina, D.M. Yeast culture in sunflower husk hydrolizates. *Technology and equipment in the chemical, biotechnological and food industry: Proceedings of the XVII All-Russia research to practice conference for undergraduate, graduate and postgraduate students and young scientists with international participation*. Biysk, 2024. 235-240. (In Russ.).

Information about the authors

D.S. Kozhemyakin - postgraduate student at the Department of Technology of Fermentation and Winemaking of the Altay State Technical University.

E.P. Kamenskaya - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Fermentation and Winemaking of the Altay State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.