



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66.094.6: 661.123:676.166.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.026



ВТОРИЧНЫЕ РЕСУРСЫ: ШЕЛУХА РАПСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ЛИГНИНА

Любовь Анатольевна Зайцева ¹, Валентин Игоревич Ущачповский ²,
Агата Анатольевна Яковлева ³, Ирина Эдуардовна Миневиц ⁴

^{1, 2, 3, 4} ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

¹ l.zaitzeva@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8902-7618>

² v.uschapovsky@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1620-3323>

³ a.goncharova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5977-5669>

⁴ i.minevich@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

Аннотация. Рапс – одна из наиболее востребованных масличных культур в мире, он неприхотлив и может выращиваться даже в суровых климатических условиях. Рапсовое масло находит широкое применение во многих областях промышленности, от пищевой до лакокрасочной. Жмыхи и шроты рапса богаты белком, что позволяет использовать их в качестве добавок к кормам. Все большее распространение в перерабатывающей промышленности приобретает обрушивание семян рапса. Это позволяет получать пищевое масло более высокого качества. Дополнительным не целевым продуктом обрушивания семян рапса является шелуха, переработка которой позволит повысить экономическую эффективность производства этой сельскохозяйственной культуры. Цель настоящего исследования – обоснование целесообразности глубокой переработки шелухи рапса. Для снижения экстрактивных веществ шелуху рапса подвергали последовательной экстракции этанолом и очищенной горячей водой, также проводили обработку толуольно-спиртовой смесью. Шелуху рапса подвергали органосольвентной обработке. При органосольвентной обработке измельченное сырье нагревали до 85°C в растворе, содержащем уксусную кислоту, перекись водорода и каталитическое количество серной кислоты. Кислоторастворимый лигнин выделяли из надосадочного раствора, полученного в результате органосольвентной обработки. В результате анализа было установлено, что в использованной шелухе рапса присутствует значительное количество экстрактивных веществ: растворимых при последовательной обработке этанол-горячая вода – 22,33 %, в органических растворителях (толуольно-спиртовая смесь) – 6,60 %. Показано, что выход целлюлозосодержащего продукта и содержание в нем основных компонентов зависят от способа предварительной обработки рапсовой шелухи. Характеристики целлюлозосодержащего продукта варьировали при этом в следующих интервалах: выход 25-31 %, содержание: целлюлозы 43-51 %, лигнина 7-17 %. Установлена возможность выделения кислоторастворимого лигнина в процессе органосольвентной обработки шелухи рапса. Дальнейшее изучение и разработка технологических приемов использования шелухи рапса целесообразно и может быть рекомендовано как одно из направлений переработки производственных отходов.

Ключевые слова: шелуха рапса, органосольвентная обработка, целлюлозный продукт, экстрактивные вещества, лигнин

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания Федерального научного центра лубяных культур (№ FGSS–2022–0007).

Для цитирования: Зайцева Л. А., Ущачповский В. И., Яковлева А. А., Миневиц И. Э. Вторичные ресурсы: шелуха рапса для получения целлюлозы и лигнина // Ползуновский вестник. 2025. № 4, С. 157–164. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.026. EDN: <https://elibrary.ru/MJOYUV>.

Original article

SECONDARY RESOURCES: RAPESEED HUSK FOR THE PRODUCTION OF CELLULOSE AND LIGNIN

Liubov A. Zaitseva ¹, Valentin I. Ushchapovsky ², Agata A. Yakovleva ³,
Irina E. Minevich ⁴

^{1, 2, 3, 4} Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

¹ l.zaitzeva@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8902-7618>

² v.uschapovsky@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1620-3323>

³ a.goncharova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5977-5669>

⁴ i.minevich@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

Abstract. Rapeseed is one of the most sought-after oilseeds in the world, it is unpretentious and can be grown even in harsh climatic conditions. Rapeseed oil is widely used in many areas of industry, from food to paint and varnish.

© Штырова А. А., Носова Е. А., 2025

Rapeseed cakes and meal are rich in protein, which allows them to be used as feed additives. The collapse of rapeseed is becoming increasingly common in the processing industry. This allows to obtain a higher quality edible oil. An additional non-target product of the collapse of rapeseed is the husk, the processing of which will increase the economic efficiency of the production of this crop. The purpose of this study is to substantiate the feasibility of deep processing of rapeseed husks. To reduce extractive substances, rapeseed husks were subjected to sequential extraction with ethanol and purified hot water, and toluene-alcohol mixture was also treated. Rapeseed husks were subjected to organosolvent treatment. During organosolvent treatment, the crushed raw materials were heated to 85 °C in a solution containing acetic acid, hydrogen peroxide and a catalytic amount of sulfuric acid. Acid-soluble lignin was isolated from a solution obtained as a result of organosolvent treatment. As a result of the analysis, it was found that a significant amount of extractive substances is present in the used rapeseed husk: ethanol-hot water soluble in sequential processing – 22,33 %, in organic solvents (toluene-alcohol mixture) – 6,60 %. It is shown that the yield of the cellulose-containing product and the content of its main components depend on the method of pretreatment of rapeseed husks. The characteristics of the cellulose-containing product varied in the following intervals: yield 25-31 %, content: cellulose 43-51 %, lignin 7-17 %. The possibility of the release of acid-soluble lignin in the process of organosolvent processing of rapeseed husks has been established. Further study and development of technological methods for the use of rapeseed husk is advisable and can be recommended as one of the directions of processing industrial waste.

Keywords: rapeseed husk, organosolvent treatment, cellulose product, extractive substances, lignin.

Acknowledgements: This research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (№ FGSS-2022-0007).

For citation: Zaitseva L. A., Ushchapovsky V. I., Yakovleva A. A., Minevich I. E. (2025). Secondary resources: rapeseed husk for the production of cellulose and lignin. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 157-164. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.04.026. EDN: <https://elibrary.ru/MJOYUV>.

ВВЕДЕНИЕ

Рапс (*Brassica napus* L.) – растительная масличная культура многоцелевого назначения. Он является второй по объему производства масличной культурой в мире после сои – 68,02 млн тонн и 337,48 млн тонн в 2019/2020 году соответственно, опережая подсолнечник (53,48 млн тонн), арахис (45,52 млн тонн) и хлопковое семя (44,3 млн тонн) [1]. Традиционно основными производителями рапса являются страны Северной Америки (прежде всего Канада) и страны Евросоюза.

Увеличение посевных площадей рапса имеет широкие перспективы в России. Так в 2022 году посевные площади составили 2,3 млн га (+39,2 % к уровню 2021 года); валовой сбор культуры – 4,6 млн т (+63,2 %), в том числе озимого рапса – 1,6 млн т [2]. Повышенный интерес к рапсу обусловлен хорошей приспособленностью этого растения к умеренному климату, высокой продуктивностью современных сортов, прогрессивной технологией возделывания, увеличивающейся потребностью в растительных маслах и высокобелковых кормах. Данную культуру возможно выращивать даже на обширных территориях Сибири, поскольку она хорошо адаптируется к почвенно-климатическим условиям регионов рискованного земледелия, быстро созревает и дает стабильные урожаи [1, 2, 3].

Практический интерес к семенам рапса обусловлен высоким содержанием масла и белка [4].

В таблице 1 представлена характеристика со-

става цельного семени рапса, а также его составляющих – ядра и оболочки.

Стоит отметить, что биохимический состав семян рапса зависит от сорта, условий выращивания и времени сбора урожая.

В семенах рапса также содержатся вещества, оказывающие отрицательное влияние на его пищевую ценность, повышенное содержание которых ограничивает его использование в пищевой промышленности. Дикорастущий рапс содержит высокую концентрацию эруковой кислоты (22–60 %) и глюкозинолатов (80 мкмоль/г), которые токсичны при употреблении в больших количествах.

В пищевой промышленности используются безэруковые и низкоглюкозинолатные сорта (тип «0», «00»). Селекционеры работают с использованием традиционных методов селекции растений для удаления антипитательных компонентов из семян, чтобы гарантировать его безопасность для употребления в пищу [6].

В семенах *Brassicaceae* зародыш обернут тонкой черной оболочкой, которая в основном состоит из волокон с высокой долей одревесневшего материала. В настоящее время шелушение семян рапса редко проводится в промышленных масштабах, поскольку в алейроновом слое оболочки содержится относительно большое количество масла. Кроме того, препятствием для удаления оболочки выступает малый размер семян рапса (от 0,8 до 1,6 мм) и прочная связь ядра и оболочки. Решение этой проблемы реализуемо при использовании современного оборудования [7, 8].

Таблица 1 – Биохимический состав фракций рапсового семени [5]

Table 1 – Biochemical composition of rapeseed fractions

Показатель	Содержание, %		
	Цельное семя	Ядро	Шелуха
Жир	48,45±2,24	55,97±2,80	8,37±0,42
Белок	38,16±1,91	47,82±2,39	14,20±0,71
Целлюлоза	15,72±0,79	5,80±0,29	38,23±1,91
Лигнин	9,89±0,49	0,47±0,02	31,19±1,56
Зола	5,69±0,28	5,48±0,27	5,66±0,28

О целесообразности предварительного обрушивания семян рапса свидетельствует повышение качества масла и шрота, а также широкое распространение этого процесса за рубежом [5, 6, 7, 9].

Промышленное обрушивание может обеспечить больший интерес к шроту, который содержит до 34 % белка, в качестве сырья для производства кормов для животных. Скармливание животным рапсового шрота с

повышенным содержанием белка позволит уменьшить зависимость от импортируемых источников белка [7].

Дополнительным не целевым продуктом обрушивания семян рапса является шелуха.

Шелуха рапса в настоящее время имеет небольшую экономическую ценность. О ее составе и потенциальном промышленном использовании литература немногочисленна [10]. Основными направлениями глубокой переработки шелухи предложены пиролиз и сжигание [11, 12], также разработаны варианты ее использования в производстве биоэтанола [13] и в качестве сырья при экстракции фенольных соединений [14].

Следует отметить, что переработка шелухи рапса повышает эффективность производства этой культуры.

Шелуха злаковых и масличных культур рассматривается в качестве лигноцеллюлозного сырья для получения целлюлозы различными способами [11, 15, 16, 17]. Однако информация по получению целлюлозных продуктов из шелухи рапса встречается редко. Так, опубликованы результаты исследований по получению наноцеллюлозы из шелухи рапса [18].

Целлюлозу из вторичного недревесного растительного сырья (отходы агропромышленного производства: солома, стебли, шелуха, лузга) получают как щелочными способами делигнификации, так и окислительно-органосольвентными. Органосольвентные способы являются малоопасными, характеризуются «мягкими» условиями процесса (атмосферное давление, температура не выше 100°C), позволяют получать техническую целлюлозу в одну стадию без применения хлорсодержащих реагентов [19; 20; 21].

В настоящее время исследования лигнина актуальны и имеют большое практическое значение. Лигнин является потенциальным источником получения различных химических соединений, что обусловлено особенностями его химического строения и практической неисчерпаемостью природных растительных запасов [22]. Перспективным ресурсом для выделения лигнина являются такие агропромышленные отходы, не имеющие пищевого или кормового значения, как шелуха, лузга, плодовые оболочки семян сельскохозяйственных культур [17, 23].

Цель работы – обоснование целесообразности глубокой переработки шелухи рапса.

Задачами являлись:

Таблица 2 – Условия последовательной экстракции растворимых веществ из шелухи рапса

Table 2 – Conditions for the sequential extraction of soluble substances from rapeseed husks

Экстрагент	Г*	t, ч	T, °C
Последовательная экстракция гидрофильными растворителями			
Этанол	10	1	70
Горячая вода	20	1	100
Обработка толуольно-спиртовой смесью			
Толуольно-спиртовая смесь (1:2)	10	1	70

*Соотношение сырья и растворителя

Органосольвентную обработку шелухи рапса проводили в соответствии с условиями, приведенными в таблице 3.

Измельченное сырье подвергали нагреванию с раствором, содержащим уксусную кислоту, перекись водорода и каталитическое количество серной кислоты. Обработку проводили в стеклянных колбах с обратным холодильником в термостате, без перемешивания. Смесь разделяли вакуумным фильтрованием

1) Анализ компонентного состава шелухи рапса после предварительного удаления экстрактивных веществ.

2) Получение целлюлозосодержащего и лигнин-содержащего продуктов из шелухи рапса в одном технологическом процессе.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования использовали шелуху рапса и полученные из нее продукты.

Фракция шелухи была получена при обрушивании семян рапса (производство 2021г, Смоленская обл.) в лабораторных условиях ВНИИЗ (Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки, г. Москва) и предоставлена доктором технических наук Зверевым С.В.

Шелуха рапса представляет собой смесь полусферических темно-коричневых или черных оболочек либо их фрагментов и остатков ядра семян рапса (рис. 1).

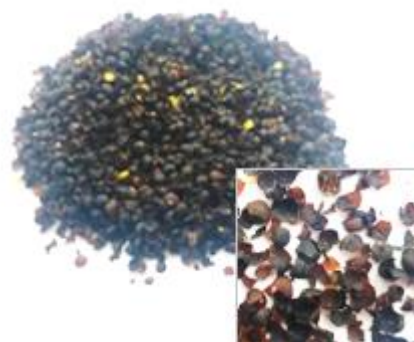


Рисунок 1 - Исходная шелуха рапса
Figure 1 - The original husk of rapeseed

Для снижения количества экстрактивных веществ в шелухе рапса, а также для увеличения выхода целевого продукта применили схему последовательной экстракции гидрофильными растворителями, а также толуольно-спиртовой смесью (таблица 2). Удаление растворимых веществ проводили методом однократной последовательной экстракции этанолом и очищенной горячей водой.

на воронке Бюхнера, получали растворимую и нерастворимую фракции.

Нерастворимую фракцию промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции и сушили при температуре 50 °C. В результате получали целлюлозосодержащий продукт.

Кислоторастворимый лигнин осаждали из растворимой фракции 10-кратным избытком дистиллированной воды аналогично источнику [24] и выдержи-

вали в течение суток. После осаждения осадка его отделяли от раствора фильтрованием на вакуумном

фильтре, сушили при $T\ 80\ ^\circ\text{C}$.

Таблица 3 – Условия органосольвентной обработки шелухи рапса

Table 3 – Conditions of organosolvent treatment

Реагенты	Катализатор	Г*	T, °C	t, ч
$\text{CH}_3\text{COOH}+\text{H}_2\text{O}_2$ (9,8+13,9 г–моль/л)	H_2SO_4 (72 %) масс. 0,5 %	16	85	4

*Г – гидромодуль (соотношение сырья и реагентного раствора)

Определение характеристик сырья и целевого продукта выполняли по стандартным методикам: содержание жира – по ГОСТ 10857–64, белка – по ГОСТ 13496.4–2019, влажности – по ГОСТ 10856–96.

Содержание целлюлозы в целевом продукте определяли в соответствии с методикой, приведенной в источнике¹. Метод основан на азотнокислом гидролизе в спиртовой среде. Согласно данному методу, навеска образца обрабатывается смесью концентрированной азотной кислоты и этилового спирта; при этом лигнин, нитруясь и частично окисляясь, переходит в раствор спирта. Спиртовая среда снижает окисляющее и гидролизующее действие азотной кислоты на целлюлозу, гемицеллюлозы же в основном гидролизуются.

Определение средней степени полимеризации целлюлозы проводили в соответствии с методикой, приведенной в источнике². Метод основан на определении содержания скрытых концевых альдегидных групп по йодному числу. В данном случае йодное число (И.Ч.) – это количество мл 0,1 н раствора йода, которое расходуется на взаимодействие с 1 г целлюлозы.

Определение содержания α -целлюлозы – кристаллической фракции целлюлозы в составе целлюлозосодержащего продукта, проводили по методике, описанной в источнике². Высокомолекулярная фракция целлюлозы, нерастворимая в 17,5 % растворе едкого натра, называется α -целлюлозой. Метод основан на гравиметрическом определении массы оставшейся навески образца после обработки 17,5 %-ным раствором NaOH.

Содержание кислотонерастворимого лигнина в сырье определяли в соответствии с методикой, описанной в источнике¹. Сырье обрабатывали 72 %-ным раствором серной кислоты в течение 2,5 ч. Соотношение сырье: реагент составляло 1:15. После обработки реакционную смесь разбавляли 12-кратным избытком дистиллированной воды и кипятили в течение 1 ч. Осадок лигнина отделяли вакуумным фильтрованием и сушили при $T\ 80\ ^\circ\text{C}$.

Спектры поглощения образцов лигнина регистрировали на спектрофотометре ПЭ–5400 УФ с помощью программы SC5400 в диапазоне длин волн 210–590 нм, спектральной ширине щели 4 мм и шаге сканирования 1,0 нм. Измерения проводили в стандартной кварцевой кювете с длиной оптического пути 10 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Шелуха рапса является побочным продуктом при обрушивании семян рапса. Ее компонентный состав является основанием для более глубокого исследования этого сырья с целью получения из него дополнительных продуктов.

Характеристика исследуемой шелухи рапса

представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика шелухи рапса

Table 4 – Characteristics of rapeseed husk

Показатель	Значение, %
Сырой протеин	17,20±0,86
Сырой жир	9,54±0,48
Влажность	5,30±0,27
Содержание целлюлозы	17,80±0,89
Содержание лигнина	29,95±1,50
Зольность	3,17±0,15

Анализ литературных источников показал, что компонентный состав шелухи рапса, как и семян в целом варьирует в широких пределах. Так, содержание целлюлозы в шелухе рапса по данным различных авторов составляет от 13 до 38 % [25]. В исследуемом образце шелухи содержание целлюлозы составило 17,80 %.

Высокое содержание лигнина в шелухе рапса, от 26 до 30 %, отмечается многими авторами, в том числе и в работе [18].

Содержание протеина и целлюлозы в шелухе рапса варьирует в зависимости от генотипа и способов очистки: среднее содержание протеина составило 18,4 %, содержание целлюлозы – 26,0 % [26]. Невысокое содержание целлюлозы, определенное в настоящем исследовании (табл.4), может быть связано как с особенностями сорта, так и со способом разделения оболочки и ядра рапса.

Для удаления экстрактивных веществ из шелухи рапса были проведены предварительные обработки:

– последовательная обработка этанолом и горячей водой;

– обработка толуольно–спиртовой смесью (1:2)

Данные по содержанию экстрактивных веществ, представленные в таблице 5, указывают, что в шелухе рапса присутствуют как водорастворимые, так и соединаения, растворимые в органических растворителях, причем водорастворимых значительно больше.

Таблица 5 – Содержание экстрактивных веществ (ЭВ) в шелухе рапса

Table 5 – Extractive substances (ES) content in rapeseed husk

Экстрагент	Содержание экстрактивных веществ (ЭВ), %
Этанол	10,25±0,51
*Этанол → горячая вода	22,33±1,12
Толуольно–спиртовая смесь (1:2)	6,60±0,33

*последовательная экстракция

¹ Черкасова, Н.Г. Технология переработки отходов. Изучение химического состава растительных отходов. Методические указания для выполнения лабораторных работ // Красноярск: Редакционно–издательский центр СибГУ. - 2017. - 21 с.

² Шикова Т.Г., Жукова З.Н. Методические указания к лабораторному практикуму по курсу «Химия и технология синтеза волокнообразующих полимеров» // ГОУ ВПО Иван. Гос. Хим.-тех. ун-т.-Иваново. - 2007. - 46 с.

Таблица 6 – Характеристики исходной шелухи рапса, подвергнутой предварительной обработке

Table 6 – Characteristics of the initial rapeseed husk the pretreated one

Образец	Содержание, %			
	Протеин	Лигнин	Целлюлоза	Зола
Шелуха рапса после экстракции этанолом и горячей водой	14,79±0,74	29,00±1,45	18,00±0,90	2,76±0,14
Шелуха рапса после экстракции толуольно–спиртовой смесью	18,70±0,94	31,80±1,59	18,10±0,91	2,70±0,14

В таблице 6 представлены характеристики шелухи рапса после удаления экстрактивных веществ.

Переработку шелухи рапса осуществляли органосольвентным методом, который считается экологически малоопасным [27]. Реагентом служила композиция на основе уксусной кислоты и перекиси водорода с добавлением серной кислоты в качестве катализатора. Такие способы пероксидной обработки позволяют получать техническую целлюлозу удовлетворительного качества, а также выделять лигнин [17, 28].

После проведения органосольвентной обработки нерастворимая фракция, промытая и высушенная, представляла собой целлюлозосодержащий продукт.

Кислоторастворимый лигнин выделяли из жидкой фракции путем осаждения избытком дистиллированной воды.

Характеристики целлюлозосодержащего продукта (ЦСП), полученного из исходной шелухи рапса и обработанной способами, указанными выше, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристика целлюлозосодержащих продуктов (ЦСП) из шелухи рапса

Table 7 – Characteristic of cellulose products (CP) from rapeseed husk

Наименование сырья	Выход ЦСП, %	Содержание, %						Степень полимеризации
		Целлюлоза	Лигнин	Белок	α -целлюлоза	Зола	Влажность	
Исходная шелуха рапса	26,24±1,31	43,10±2,16	17,00±0,85	3,93±0,20	28,37±1,42	2,80±0,14	3,50±0,18	182
Шелуха, после экстракции этанолом и горячей водой	30,95±1,55	46,70±2,34	6,90±0,35	3,00±0,15	29,53±1,48	1,72±0,09	3,00±0,15	175
Шелуха после экстракции толуольно–спиртовой смесью	25,52±1,28	51,00±2,55	10,80±0,54	4,28±0,21	42,70±2,14	1,60±0,08	3,30±0,17	164

Помимо компонентов, указанных в таблице 7, целлюлозосодержащие продукты содержат остатки гемицеллюлоз и липидов, моносахара и другие минерные соединения [5, 10].

Внешний вид целлюлозных продуктов, полученных из исходной шелухи и прошедшей предварительную обработку, представлен на рис. 2 и 3 соответственно.



Рисунок 2 – Целлюлозный продукт из исходной шелухи рапса

Figure 2 – Cellulose product from the original rapeseed husk

Полученные данные позволяют предположить, что целлюлоза шелухи рапса, локализованная в плодовой оболочке семени, характеризуется невысоким содержанием кристаллической целлюлозы (α -целлюлозы). Выход, содержание основных компонентов зависят от способа предварительной обработки рапсовой шелухи.



Рисунок 3 – Целлюлозный продукт из шелухи рапса, подвергнутой предварительной экстракции горячей водой и этанолом

Figure 3 – Cellulose product from rapeseed husk subjected to pre-extraction with hot water and ethanol

Выход кислоторастворимого лигнина из всех видов используемого сырья при такой обработке оказался чрезвычайно низким, не более 1,6 %. Вероятно, в условиях примененной органосольвентной обработки кислоторастворимый лигнин частично гидролизуется на низкомолекулярные фрагменты, которые растворяются в реакционной смеси.

На рисунке 4 четко отражены различия в УФ спектрах кислоторастворимого лигнина, выделенного при органосольвентной обработке шелухи рапса, предварительно обработанной толуольно–спиртовой смесью и кислотонерастворимого лигнина из того же сырья.

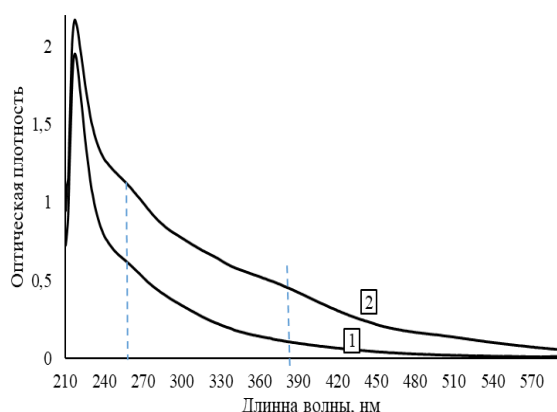


Рисунок 4 - УФ спектры лигнинов шелухи рапса, снятые в 0,2н растворе NaOH:

- 1 – кислоторастворимый лигнин;
2 – кислотонерастворимый лигнин

Figure 4 - UV spectra of rapeseed husk lignins taken in 0.2n NaOH solution:

- 1 – acid-soluble lignin;
2 – acid-insoluble lignin

Лигнин представляет собой смесь ароматических полимеров родственного строения, имеющих в своем составе различные функциональные группы (гидроксильные, карбоксильные и т.д. Хромофорной группировкой лигнина является бензольное кольцо, полоса поглощения которого зависит от природы и положения заместителей, количества конденсированных циклов, наличия и природы функциональных групп³. Структура лигнинов лишена регулярности, характерной для других биополимеров, что затрудняет изучение их строения [29].

В отличие от классических спектров «древесных» лигнинов, имеющих четкий пик при 280 нм [24], в спектрах исследуемых образцов это поглощение фенилпропановых единиц (ФПЕ) смещено и проявляется в виде небольших холмов в области 260 нм. На спектре образца 2, кислотонерастворимого лигнина, в области 380 нм проявляется небольшой холм, который обусловлен наличием структурных единиц, имеющих карбонильные группы или двойные связи C=C, сопряженные с бензольным кольцом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переработка семян рапса в больших объемах сталкивается с проблемой утилизации производственных отходов, к которым относится и шелуха. Однако это ценное сырье.

Определено содержание экстрактивных веществ в шелухе рапса: растворимых при последовательной обработке этанол-горячая вода - 22,33 %, в органических растворителях (толуольно-спиртовая смесь) – 6,60 %.

Показана возможность получения целлюлозосодержащего продукта методом органосольвентной обработки шелухи рапса. Целлюлозосодержащий продукт из шелухи рапса является потенциальным сырьем для дальнейшей переработки в различные виды

целлюлозных продуктов, либо получения низкомолекулярных веществ.

Показано, что выход и содержание основных компонентов определяются способом предварительной обработки рапсовой шелухи. Показатели целлюлозосодержащего продукта варьируют при этом в следующих интервалах: выход 25-31 %, содержание: целлюлозы 43-51 %, лигнина 7-17 %.

Показана возможность выделения кислоторастворимого лигнина в процессе органосольвентной обработки шелухи рапса. Дальнейшее изучение и разработка технологических приемов использования шелухи рапса целесообразно и может быть рекомендовано как одно из направлений переработки вторичного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким Д.В. Особенности состава рапса, его переработка и перспективы выращивания в Сибирском регионе // Пищевые инновации в биотехнологии. Сборник тезисов VI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых под общей редакцией А.Ю. Просекова. М. 2018. Т. 2. С. 58–62.
2. Россия может довести урожай рапса до 10–12 млн т в год — отраслевая ассоциация [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://specagro.ru/news/202301/rossiya-mozhet-dovesti-urozhay-rapsa-do-10-12-mln-t-v-god-otraslevaya-assotsiatsiya> (25.10.2023).
3. Выгоды потепления: почему в России растёт производство масличных культур? [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://sber.pro/publication/vygody-potepleniia-pochemu-v-rossii-rastet-proizvodstvo-maslichnykh-kultur/> (13.12.2023).
4. Быкова С.Ф. Давиденко Е.К., Минасян Н.С. Переработка семян крестоцветных (рапса, рыжика, сурепицы) современных сортов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2013. №2. С. 5–8.
5. Carre P., Citeau M., Robin G., Estorges M. Hull content and chemical composition of whole seeds, hulls and germs in cultivars of rapeseed (*Brassica napus*) // OCL. 2016. Vol. 23. № 3. 8 p.
6. Рензаев А.О., Кравченко С.Н. Метод переработки рапса обрушиванием семян и удаление оболочки // Вестник КрасГАУ. 2022. № 6. С. 210–216 DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-6-210-216>.
7. Carre, P. A new method for rapeseed hulls purification – proof of concept // Published by EDP Sciences. 2021. 11 p.
8. Dekkers, K. Process design for sustainable extraction of rapeseed protein mixtures // Biobased chemistry and technology. 2018. 55 p.
9. Rekas A., Siger A., Wroniak M., Scibisz I., Derewiaka D., Anders A. Dehulling and microwave pretreatment effects on the physicochemical composition and antioxidant capacity of virgin rapeseed oil // J Food Sci Technol. 2017. Vol 54. №3. P. 627–638.
10. Asad, M.; Brahim, M.; Ziegler-Devin, I.; Boussetta, N.; Brosse, N. Chemical characterization of non-saccharidic and saccharidic components of rapeseed hulls and sunflower shells // BioRes. 2017. Vol. 12. № 2. P. 3143–3153.
11. Левчук, А.А. Модификация свойств лигноцеллюлозных отходов растениеводства // Научные труды КубГТУ. 2015. № 5. С. 1–24.

³Януш О.В., Деркачева О.Ю., Гусарова Г.С. Оптическая спектроскопия полимеров. Учебное пособие // ВШТЭ СПбГУПТД. СПб. - 2017. - 46с.

12. Bilgic, E., Yaman, S., Haykiri-Acma, H., and Kucukbayrak, S. Is torrefaction of polysaccharides-rich biomass equivalent to carbonization of lignin rich biomass // *Bio-resource Technol.* 2016. P. 200, 201–207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.032>.

13. Brahim, M., Boussetta, N., Grimi, N., Vorobiev, E., and Brosse, N. Innovative physically-assisted soda fractionation of rapeseed hulls for better recovery of biopolymers // *RCS Adv.* 2016. Vol. 6. № 24. P. 19833–19842. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5RA27548B>.

14. Amarowicz, R., Nacz, M., and Shahidi, F. Antioxidant activity of crude tannins of canola and rapeseed hulls // *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2000. Vol. 77. № 9. P. 957–961. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0151-0>.

15. Barana D., Salanti A., Orlandi M., Ali D.S., Zoia L. Biorefinery process for the simultaneous recovery of lignin, hemicelluloses, cellulose nanocrystals and silica from rice husk and *Arundo donax*. // *Industrial Crops and Products*. 2016. Vol. 86. P. 31–39.

16. Abraham R. E., Wong C. S., Puri M. Enrichment of cellulosic waste hemp (*Cannabis sativa*) hurd into non-toxic microfibrils // *Materials*. 2016. P. 562. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma9070562>.

17. Синицын А.П., Синицына О.А. Биоконверсия возобновляемой растительной биомассы на примере биотоплива второго поколения: сырье, предобработка, ферменты, процессы, экономика // *Успехи биологической химии*. 2021. Т. 61. С.347–414.

18. Weijun Wang, Changsheng Liu, Fenghong Huang, Wenlin Li, Chang Zheng. Preparation and characterization of nanocellulose from rapeseed hull // *OIL CROP SCIENCE*. 2019. Vol. 4. № 1. P. 55–64. DOI: [doi:10.3969/j.issn.2096-2428.2019.01.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.2096-2428.2019.01.007).

19. Арсеньева Д.Ю., Казаков Я.В., Окулова Е.О., Лагунов А.Ю. Закономерности процесса пероксидно-ацетатной делигнификации недревесного целлюлозосодержащего сырья в присутствии сернистого катализатора. *ИВУЗ. «Лесной журнал»*. 2019. №3. С. 143–151. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536.2019.3.143>.

20. Пен Р.З., Шапиро И.Л., Каретникова Н.В. Пероксидная целлюлоза из пшеничной соломы. *Химия растительного сырья*. 2022. №2. С. 299–305. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220210688>.

21. Пен Р.З., Шапиро И.Л., Каретникова Н.В., Марченко Р.А. Пероксидная целлюлоза из стеблей пшеницы и конопли. *Химия растительного сырья*. 2023. №4. С. 415–422. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230412954>.

22. Феофилова Е.П., Мысякина И.С. Лигнин: химическое строение, биodeградация, практическое использование (обзор). // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2016. Т. 52. № 6. С. 559–569.

23. Зайцева Л. А., Волкова В. В., Миневич И. Э. Получение целлюлозного продукта из конопляной лузги // *Ползуновский вестник*. 2023. № 2. С. 174–183. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.023>.

24. Ruwoldt J., Tanase-Opedal M., Syverud K. Ultraviolet spectrophotometry of lignin revisited: exploring solvents with low harmfulness, lignin purity, hansen solubility parameter, and determination of phenolic hydroxyl groups // *ACS Omega*. 2022. Vol. 50. № 7. P. 46371–46383. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04982>.

25. Jóźwiak T., Filipkowska U., The use of rapeseed husks to remove acidic and basic dyes from aquatic solutions. *App. Sci.* 2024. 14. 1174. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14031174>.

26. Горковенко Л.Г., Осепчук Д.В. Использование рапса и продуктов его переработки в кормлении свиней и мясной птицы. Краснодар. 2011. 192с

27. Вураско А.В., Минакова А.Р., Дрикер Б.Н., Сиваков В.П., Косачева А.М. Технология получения целлюлозы из недревесного растительного сырья // *Химия растительного сырья*. 2010. № 2. С.165–168.

28. Arato, C., Kendall, P., Gjennstad, G. The Lignol approach to biorefining of woody biomass to produce ethanol and chemicals // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2005. P. 871–882.

29. Джуманова З.К. Спектральная характеристика лигнинов I.УФ-спектры диоксанлигнинов злаковых растений. *Universum: химия и биология: электрон. научн. журн.* 2022. 12(102). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/14645>.

Информация об авторах

Л. А. Зайцева - младший научный сотрудник лаборатории "Молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции" ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур.

В. И. Ушаповский - младший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур.

А. А. Яковлева - младший научный сотрудник лаборатории "Молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции" ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур.

И. Э. Миневич - доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Переработки лубяных культур ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур.

REFERENCES

1. Kim D.V. Features of rapeseed composition, its processing and prospects of cultivation in the Siberian region. *Food innovations in biotechnology. Collection of abstracts of the VI International Scientific Conference of students, post-graduates and young scientists under the general editorship of A.Y. Prosekov*, 2018. 2. p. 58–62. (In Russ).

2. Russia can bring the rapeseed harvest to 10–12 million tons per year — industry association [Electronic resource]. 2023. URL: <https://specagro.ru/news/202301/ros-siya-mozhet-dovesti-urozhay-rapsa-do-10-12-mln-t-v-god-otraslevaya-associaciya> (accessed 25.10.2023).

3. Benefits of warming: why is the production of oilseeds growing in Russia? [electronic resource]. 2023. URL: <https://sber.pro/publication/vygody-potepleniya-pochemu-v-rossii-rastet-proizvodstvo-maslichnykh-kultur/> (accessed 13.12.2023).

4. Bykova S.F. Davidenko E.K., Minasyan N.S. Processing of cruciferous seeds (rapeseed, ginger, surepitsa) of modern varieties. *Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Fats*. 2013;2:5–8. (In Russ).

5. Carre P., Citeau M., Robin G., Estorges M. Hull content and chemical composition of whole seeds, hulls and germs in cultivars of rapeseed (*Brassica napus*). *OCL*. 2016;23(3):8.23.

6. Rezaev A.O., Kravchenko S.N. Rapeseed processing method by seed collapse and shell removal. *Bulletin of KrasGAU*. 2022;6:210–216. (In Russ) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-6-210-216>.

7. Carre, P. A new method for rapeseed hulls purification – proof of concept. Published by EDP Sciences. 2021:11.

8. Dekkers, K. Process design for sustainable extraction of rapeseed protein mixtures. *Biobased chemistry and technology*. 2018:55.

9. Rekas A., Siger A., Wroniak M., Scibisz I., Derewiaka D., Anders A. Dehulling and microwave pretreat-

ment effects on the physicochemical composition and antioxidant capacity of virgin rapeseed oil. *J Food Sci Technol*. 2017;54(3):627–638.

10. Asad, M.; Brahim, M.; Ziegler–Devin, I.; Boussetta, N.; Brosse, N. Chemical characterization of non–saccharidic and saccharidic components of rapeseed hulls and sunflower shells. *BioRes*. 2017;12 (2):3143–3153.

11. Levchuk, A.A. Modification of the properties of lignocellulose waste from crop production. *Scientific works of KubSTU*. 2015;5:1–24. (In Russ).

12. Bilgic, E., Yaman, S., Haykiri–Acma, H., and Kucukbayrak, S. Is torrefaction of polysaccharides–rich biomass equivalent to carbonization of lignin rich biomass. *Bioresource Technol*. 2016;200,201–207. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.032>.

13. Brahim, M., Boussetta, N., Grimi, N., Vorobiev, E., and Brosse, N. Innovative physically–assisted soda fractionation of rapeseed hulls for better recovery of biopolymers. *RCS Adv*. 2016;6:19833–19842. <https://doi.org/10.1039/C5RA27548B>.

14. Amarowicz, R., Naczek, M., and Shahidi, F. Antioxidant activity of crude tannins of canola and rapeseed hulls. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2000;77(9):957–961. <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0151-0>.

15. Barana D., Salanti A., Orlandi M., Ali D.S., Zoia L. Biorefinery process for the simultaneous recovery of lignin, hemicelluloses, cellulose nanocrystals and silica from rice husk and *Arundo donax*. *Industrial Crops and Products*. 2016;86:31–39.

16. Abraham R. E., Wong C. S., Puri M. Enrichment of cellulosic waste hemp (*Cannabis Sativa*) hurd into non–toxic microfibrils. *Materials*. 2016;9:562. <https://doi.org/10.3390/ma9070562>.

17. Sinitsyn A.P., Sinitsyna O.A. Bioconversion of renewable plant biomass on the example of second–generation biofuels: raw materials, preprocessing, enzymes, processes, economics. *Advances in biological chemistry*. 2021;61:347–414. (In Russ).

18. Weijun Wang, Changsheng Liu, Fenghong Huang, Wenlin Li, Chang Zheng. Preparation and characterization of nanocellulose from rapeseed hull. *OIL CROP SCIENCE*. 2019;4(1):55–64. <https://doi.org/10.3969/j.issn.2096-2428.2019.01.007>.

19. Arsenyeva D.Yu., Kazakov Ya.V., Akulova E.O., Lagunov A.Yu. Regularities of the process of peroxide–acetate delignification of non–wood cellulose–containing raw materials in the presence of a sulfuric acid catalyst. *"Forest Magazine"*. 2019;3:143–151. <https://doi.org/10.17238/issn0536.2019.3.143> (In Russ).

20. Pen R.Z., Shapiro I.L., Karetnikova N.V. Peroxide cellulose from wheat straw. *Chemistry of plant raw materials*. 2022;2:299–305. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220210688> (In Russ).

21. Pen R.Z., Shapiro I.L., Karetnikova N.V.,

Marchenko R.A. Peroxide cellulose from wheat and hemp stalks. *Chemistry of plant raw materials*. 2023;4:415–422. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230412954> (In Russ).

22. Feofilova E.P., Mysyakina I.S. Lignin: chemical structure, biodegradation, practical use (review). *Applied Biochemistry and microbiology*. 2016;52(6):559–569. (In Russ).

23. Zaitseva L. A., Volkova V. V., Minevich I. E. Obtaining a cellulose product from hemp husk. *Polzunovsky vestnik*. 2023;2:174–183. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.023> (In Russ).

24. Ruwoldt J., Tanase–Opedal M., Syverud K. Ultraviolet spectrophotometry of lignin revisited: exploring solvents with low harmfulness, lignin purity, hansen solubility parameter, and determination of phenolic hydroxyl groups. *ACS Omega*. 2022;50(7):46371–46383. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04982>.

25. Jóźwiak T., Filipkowska U., The use of rapeseed husks to remove acidic and basic dyes from aquatic solutions. *App. Sci*. 2024;14:1174. <https://doi.org/10.3390/app14031174>.

26. Gorkovenko L.G., Osepchuk D.V. The use of rapeseed and its processed products in feeding pigs and poultry. 2011:192. (In Russ).

27. Vurasco A.V., Minakova A.R., Driker B.N., Sivakov V.P., Kosacheva A.M. Technology for obtaining cellulose from non–wood vegetable raw materials. *Chemistry of vegetable raw materials*. 2010;2:165–168. (In Russ).

28. Arato, C., Kendall, P., Gjennstad, G. The Lignol approach to biorefining of woody biomass to produce ethanol and chemicals. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2005:871–882.

29. Dzhumanova Z.K. Spectral characteristics of lignins I. UV spectra of dioxanlignins of cereal plants. *Universum: Chemistry and Biology: electron. scientific Journal*. 2022.12(102). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/14645> (In Russ).

Information about the authors

L. A. Zaitseva - Junior researcher at the Laboratory of "Molecular Genetic Research and Cell Selection" of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops.

V. I. Ushchapovsky - Junior researcher at the Laboratory of processing bast crops of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops.

A. A. Yakovleva - Junior researcher at the Laboratory of "Molecular Genetic Research and Cell Selection" of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops.

I. E. Minevich - Doctor of Technical Sciences, Leading researcher at the Laboratory of Processing of Bast Crops of the Federal Scientific Center of Bast Fiber Crops.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2025; одобрена после рецензирования 24 ноября 2025; принята к публикации 28 ноября 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2025; approved after editing on 24 Nov 2025; accepted for publication on 28 Nov 2025.