

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-1-54-61>



Поступила 23.05.2025

Поступила после рецензирования 18.02.2026

Принята в печать 05.03.2026

© Белявская И. Г., Дубцова Г. Н., Осипчук И. Р., 2026

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Открытый доступ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА ХРАНЕНИЯ ПШЕНИЧНО-КЕДРОВОЙ МУКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЁ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЕМКОСТИ

Белявская И. Г. *, Дубцова Г. Н., Осипчук И. Р.

Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

сырье, хлебопекарная промышленность, прогнозирование срока хранения, уравнение Аррениуса, характеристики качества, органолептические показатели, пищевая ценность

Представлены результаты исследований хранимостепособности, а также антиоксидантные характеристики композитной пшенично-кедровой муки и хлебобулочных изделий, выработанных на ее основе. Установлено, что разработанная технология получения композитной пшенично-кедровой муки обеспечивает повышение содержания жира в 4,5 раза и белка на 9,6% по сравнению с контрольным пробой муки без добавления ореха. Изделия из композитной муки приобретают характерный кедровый аромат, что положительно влияет на их органолептическую оценку. Проведенная сравнительная характеристика показателей качества лабораторных проб пшеничной и композитной пшенично-кедровой муки показала, что внесение ядер кедрового ореха снижает показатели влажности, белизны, числа падения и содержания клейковины, а также изменяет ее характеристики в сторону расслабления и большей растяжимости. Выявлен характер изменения показателя кислотного числа жира (КЧЖ) пшеничной и пшенично-кедровой муки при хранении в течение 180 суток при температурах $20 \pm 0,5^\circ\text{C}$, $30 \pm 0,5^\circ\text{C}$ и $40 \pm 0,5^\circ\text{C}$, что позволило спрогнозировать сроки хранения композитной пшенично-кедровой муки. Установлено, что применение ядер кедрового ореха в составе композитной пшенично-кедровой муки не повышает прирост показателя КЧЖ. Прогнозируемый срок хранения композитной пшенично-кедровой муки составил не менее 8 месяцев. Установлены антиоксидантные характеристики композитной пшенично-кедровой муки: значения составили $0,32 \pm 0,03$ и $5,22 \pm 0,14$ мкмоль ТЭ/г с.в. для липофильной и гидрофильной фракций соответственно. Для проб хлебобулочных изделий, выработанных на ее основе, значение Prior-критерия составило 0,26, что превышает аналогичные показатели для пшеничных изделий из цельнозерновой муки (0,10) и из пшеничной хлебопекарной муки 1-го сорта (0,07). Таким образом, композитная пшенично-кедровая мука может быть рекомендована для промышленного производства и выработки продукции повышенной пищевой ценности.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование выполнено при поддержке ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

Received 23.05.2025

Accepted in revised 18.02.2026

Accepted for publication 05.03.2026

© Belyavskaya I. G., Dubtsova G. N., Osipchuk I. R., 2026

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

PREDICTION OF THE SHELF LIFE OF WHEAT-CEDAR FLOUR AND DETERMINATION OF ITS ANTIOXIDANT CAPACITY

Irina G. Belyavskaya*, Galina N. Dubtsova, Ivan R. Osipchuk

Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

KEYWORDS:

raw materials, bakery industry, shelf life prediction, Arrhenius equation, quality characteristics, organoleptic properties, nutritional value

ABSTRACT

The results of storability studies, as well as antioxidant characteristics of composite wheat-cedar flour and bakery products produced on its basis, are presented. It has been established that the developed technology for producing composite wheat-cedar flour provides an increase in fat content by 4.5 times and protein by 9.6% compared to a control sample of flour without nuts. Products made from composite flour acquire a characteristic cedar aroma, which positively influences their organoleptic assessment. A comparative analysis of the quality indicators of laboratory samples of wheat and composite wheat-cedar flour showed that the addition of pine nut kernels reduces the moisture content, whiteness, falling number, and gluten content, and changes its characteristics in the direction of relaxation and greater extensibility. The character of the change in the acid value of fat (AVF) of wheat and wheat-cedar flour during storage for 180 days at temperatures of 20 ± 0.5 , 30 ± 0.5 and $40 \pm 0.5^\circ\text{C}$ was revealed, which made it possible to predict the shelf life of composite wheat-cedar flour. It has been established that the use of pine nut kernels in the composition of composite wheat-pine nut flour does not increase the growth of the AVF indicator. The predicted shelf life of the composite wheat-cedar flour is at least 8 months. The antioxidant properties of composite wheat-cedar flour were established, revealing values of 0.32 ± 0.03 and 5.22 ± 0.14 $\mu\text{mole TEAC/g DM}$ for the lipophilic and hydrophilic fractions, respectively. For the samples of bakery products produced on its basis, the Prior criterion value was 0.26, which exceeds similar values for wheat products made from whole grain flour (0.10) and from grade 1 wheat bakery flour (0.07). Thus, composite wheat-cedar flour can be recommended for industrial production and the manufacture of products with increased nutritional value.

FUNDING: The study was carried out with the support of the Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH).

1. Введение

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» к важнейшим критическим наукоемким технологиям относятся технологии персонализированного, лечебного и функционального питания, направленные на здоровьесбережение

населения. Перспективы разработки технологий продуктов функционального питания базируются на применении источников пищевых и биологически активных веществ, в том числе возобновляемых ресурсов растительного происхождения.

В качестве возобновляемых ресурсов растительного сырья, обладающих высокими показателями пищевой ценности, интерес представляют семена растений, рода *Pinus*, насчитывающего 29 съедобных

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Белявская, И. Г., Дубцова, Г. Н., Осипчук, И. Р. (2026). Прогнозирование срока хранения пшенично-кедровой муки и определение её антиоксидантной емкости. *Пищевые системы*, 9(1), 54–61. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-1-54-61>

FOR CITATION: Belyavskaya, I. G., Dubtsova, G. N., Osipchuk, I. R. (2026). Prediction of the shelf life of wheat-cedar flour and determination of its antioxidant capacity. *Food Systems*, 9(1), 54–61. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-1-54-61>

видов, представленных в обзоре¹. Использование ядер семян кедровой сосны сибирской (*Pinus sibirica*) и дальневосточной (*Pinus koraiensis*), называемых кедровыми орехами, в России и за рубежом обусловлено их химическим составом и показателями пищевой ценности [1–3].

Ядра кедрового ореха характеризуются значительным содержанием пищевых и биологически активных веществ: белка — до 23% и жира — до 66,3%. Жиры содержат дельта-5-нелеиноновые жирные кислоты, включая пиноленовую кислоту, доля которой составляет 14–24% от общего количества жирных кислот. Пиноленовая кислота, являющаяся изомером γ -линолевой кислоты, характеризуется нерегулярным расположением двойных связей, признана таксонометрическим маркером растений семейства *Pinaceae* [4]. Наличие биологически активных соединений кедрового ореха, с одной стороны, обуславливает противовоспалительные эффекты и полезные метаболические изменения при их употреблении [5–7], а с другой — необходимость контроля показателей качества пищевой продукции при хранении.

Для повышения хранимостоспособности продуктов применяются различные способы обработки растительного сырья [8,9]. Современные тенденции, нацеленные на потребление продуктов здорового питания, создают необходимость в разработке безопасной продукции, сохраняющей высокие показатели качества на протяжении всего срока хранения.

Разработка технологических решений использования продуктов переработки кедрового ореха осуществляется в различных отраслях пищевой промышленности. Авторами [10] разработан желеобразный мармелад с ядрами кедровых орехов в количестве 9% к массе сахара, что незначительно влияет на показатели кислотности, массовой доли влаги и количества нерастворимой золы. Изделие характеризуется повышенным содержанием белка, жира, пищевых волокон, минеральных элементов и витаминов группы В.

Ученые Красноярского государственного аграрного университета [11] на основе изучения показателей качества и безопасности полутвердого сыра установили рекомендуемую дозировку кедровой муки в количестве 7%, обеспечивающую высокие показатели качества продукции. С использованием принципов пищевой комбинаторики разработан ореховый напиток, произведенный из смеси ядер и жмыха ореха в соотношении 20 : 80 с гидромодулем 1 : 7. Продукт обладает оптимальными характеристиками вязкости (3,96 мПа·с) и сбалансированным составом пищевых веществ [12]. Проведенными исследованиями [13] установлено рациональное содержание кедрового жмыха в рецептуре печенья «Кедровое» при частичной замене сливочного масла с сохранением потребительских свойств продукции, составившее 6–8% к рецептурному количеству сливочного масла на 100 кг выхода готовых изделий. Включение в рецептуру смеси полубезжирных и обезжиренных кедровых орехов обеспечило получение мучных кондитерских изделий повышенной биологической ценности с высокими органолептическими и физико-химическими характеристиками, которые могут быть рекомендованы для функционального питания. Исследователями Кубанского государственного технологического университета выявлена целесообразность применения кедровых орехов в производстве заварных пряников и функциональных мучных кондитерских изделий [14,15]. В научной литературе приведены результаты исследований по применению порошка из жмыха кедрового ореха в хлебопекарном производстве [16], обоснована рецептура и представлена технологическая схема производства продукции с внесением 15% исследуемого продукта в рецептуру хлебобулочного изделия. Разработка инновационных продуктов питания с применением кедровых орехов происходит не только в Российской Федерации, но и за рубежом [17,18].

Технологические аспекты разработки продуктов функционального питания обусловлены формированием стабильных качественных характеристик продукции, обладающей антиоксидантными и геродиетическими свойствами [19]. Вопросам безопасности кедровых орехов уделяется большое внимание [20,21]. Применение методов спектроскопии в ближнем инфракрасном диапазоне и анализ физических характеристик цифровых изображений ядер кедровых орехов позволяют идентифицировать сортовые особенности и проследить географический ареал их произрастания, что способствует стабилизации качественных характеристик продукции [22].

Вектор, обеспечивающий стабильность качественных показателей продукции функционального питания, направлен на применение сбалансированных композитных смесей [23,24] заданного состава. Композитные мучные смеси, полученные технологией совместного помола зерна пшеницы и ядер кедрового ореха, лежат в основе современных технологических решений [25] и представляют интерес для потребителей, предпочитающих натуральные продукты растительного происхождения.

Для практического применения композитных мучных смесей необходимо получение достоверной информации о сроке их хранения. В соответствии с ГОСТ Р 51074–2003² срок хранения — период, в течение которого пищевой продукт при соблюдении установленных условий хранения сохраняет свойства, указанные в нормативном или техническом документе. Истечение срока хранения не означает, что продукт не пригоден для использования по назначению. Изменение показателей качества композитных смесей в отрицательную сторону может быть связано с количественными изменениями одного или нескольких параметров. Например, с изменением содержания нутриентов, ухудшением органолептических показателей или микробиологической порчей. Разработанные композитные смеси, являющиеся продукцией длительного хранения, требуют оценки предполагаемой хранимостоспособности.

Для определения прогнозируемого срока хранения таких продуктов применяют метод ASLT (Accelerated shelf-life testing), который успешно реализуется для оценки срока хранения различных продуктов [26], в том числе муки [27,28], и позволяет значительно сократить объем экспериментальных данных.

Основные преимущества метода тестирования срока хранения заключаются в получении надежных данных о процессе порчи за короткий период времени и прогнозировании фактического срока хранения продукта. Прогнозирование осуществляется путем разработки кинетической модели, в которой должен присутствовать температурный фактор, оказывающий значительное влияние на скорость протекания химических реакций [27]. Широко используемый метод ускоренного испытания срока хранения включает исследование продукта с использованием уравнения Аррениуса при повышенных температурах и экстраполяцию кинетических результатов на обычные условия хранения.

В основе метода тестирования сроков хранения лежит определение показателя кислотного числа жира (КЧЖ) — критерия доброкачественности муки [29] и мучных смесей.

Целью настоящей работы является определение хранимостоспособности и антиоксидантных свойств композитной пшенично-кедровой муки.

- Для реализации поставленной цели решали следующие задачи:
- провести сравнительную характеристику показателей качества лабораторных проб пшеничной и композитной пшенично-кедровой муки;
 - определить влияние продолжительности хранения при различных температурных параметрах на показатель КЧЖ пшеничной и пшенично-кедровой муки;
 - провести пробные лабораторные выпечки и определить показатели качества хлебобулочных изделий, приготовленных из проб композитной муки с различными сроками хранения;
 - установить прогнозируемый срок хранения исследуемых проб композитной муки;
 - определить антиоксидантную емкость композитной муки и проб хлебобулочных изделий, выработанных на ее основе.

2. Объекты и методы

Объектами исследований являлись: проба зерна мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) урожая 2023 года; проба орехов кедровых очищенных урожая 2023 года (Новосибирская область РФ); образцы муки пшеничной и муки композитной пшенично-кедровой с дозировкой ядер кедрового ореха в количестве 10%, произведенные в лабораторных условиях; образцы хлебобулочных изделий, выработанные в лабораторных условиях.

При проведении исследований использовали зерно пшеницы по ГОСТ 9353–2016³, орехи кедровые очищенные по ГОСТ 318520–2012⁴, дрожжи прессованные хлебопекарные

² ГОСТ Р 51074–2003 «Продукты пищевые. Информация для потребителя. Общие требования». Москва: Стандартинформ, 2019. — 25 с. (с изменениями от 15.12.2009)

³ ГОСТ 9353–2016 «Пшеница. Технические условия». Москва: Стандартинформ, 2019. — 12 с.

⁴ ГОСТ 31852–2012 (ISO 6756:1984) «Орехи кедровые очищенные. Технические условия». Москва: Стандартинформ, 2014. — 13 с.

¹ Pine Nuts (2024). Электронный ресурс: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/pine-nuts>. Дата доступа 15.09.2025

по ГОСТ 171-2015⁵, соль пищевую по ГОСТ Р 51574–2018⁶, воду питьевую по СанПиН 2.1.4.1074–01⁷.

Определение природы зерна проводили в соответствии с ГОСТ 10840-2017⁸. Показатель зольности определялся по ГОСТ 10847-2019⁹. Для исследования стекловидности зерна использовали диафаноскоп ДС3–2М («МОТТЕХ», Россия) и методику ГОСТ 10987-76¹⁰; при определении показателей качества клейковины применяли устройство ПФК-1 («МОТТЕХ», Россия) и прибор ИДК-3М («ПЛАУН-системы», Россия), оценку проводили по ГОСТ Р 54478–2011¹¹.

Пробы пшеничной и комбинированной пшенично-кедровой муки получали в лабораторных условиях в процессе помола дробленого зерна пшеницы, смеси дробленого зерна пшеницы и ядер кедровых орехов с использованием центробежного измельчителя High Speed Multifunctional Grinder CE (JUSTBUY, Китай) с заданным скоростным режимом вращения ударных лопастей 36000 об/мин. Дробленое зерно пшеницы предварительно получали с использованием схемы, приведенной в работе [30]. Применение указанного оборудования позволило сократить технологические этапы размолы и получить пробы комбинированной муки с направленными функциональными показателями.

Оценку показателей качества лабораторных проб муки проводили по следующим параметрам: влажность — по ГОСТ 9404-88¹², белизна — по ГОСТ 26361-2013¹³, клейковина — по ГОСТ 27839-2013¹⁴, число падения — по ГОСТ ISO 3093–2016¹⁵.

Общее количество липидов определяли по ГОСТ 29033-91¹⁶.

Кислотное число жира (КЧЖ) проб муки определяли титриметрическим методом, основанным на установлении количества свободных жирных кислот в анализируемом образце выделенного жира из навески исследуемого объекта по ГОСТ 31700-2012¹⁷.

Приготовление хлебобулочных изделий осуществляли безопарным способом по рецептуре, представленной в Таблице 1. Длительность брожения теста составляла 90 минут, масса заготовки — 450±0,1 г, продолжительность расстойки — 40–45 минут при температурных режимах 38±2 °С; продолжительность выпечки составляла 25 минут при температуре 180–210 °С. Готовые изделия охлаждали при температуре 25±2 °С. При реализации пробных лабораторных выпечек применяли следующее оборудование: тестомесильная машина спиральная электрическая ТМС-40НН-1Р серии LIGHT (Абат, Россия), шкаф АВАТ ШРТ-12 (Абат, Россия), конвекционная печь КЭП-4Э (Абат, Россия).

Оценку показателей качества хлебобулочных изделий осуществляли общепринятыми¹⁸ и специальными органолептическими и физико-химическими методами. Влажность хлебобулочных изделий определяли в соответствии с ГОСТ 21094-2022¹⁹, формоустойчи-

вость хлебобулочных изделий — по ГОСТ 27229-88¹⁸. Массу изделий определяли взвешиванием на весах лабораторных МWP (Сas, Южная Корея). Объем хлебобулочных изделий определяли при помощи объемного устройства. Удельный объем изделий определяли по отношению объема к массе. Пористость мякиша по ГОСТ 5669-96²⁰, кислотность — в соответствии с ГОСТ 5670-96²¹. Качество изделий оценивали по 100-балльной системе с учетом физических и органолептических показателей, которые определяли по 5-балльной шкале с учетом коэффициентов весомости.

Таблица 1. Рецептура пшеничных и пшенично-кедровых хлебобулочных изделий

Table 1. Recipe for wheat and wheat-cedar bakery products

Наименование компонента рецептуры	Количество компонента, %
Мука (контрольная или пшенично-кедровая)	100
Соль пищевая	1,0
Дрожжи прессованные	2,0
Вода питьевая	по расчету

Хранение муки проводили в климатических камерах при температурных режимах 20±0,5 °С, 30±0,5 °С и 40±0,5 °С. Относительная влажность воздуха при всех значениях температур не превышала 70%. Для оценки качества муки при хранении использовали кислотное число жира и органолептические показатели хлебобулочных изделий, выпеченных из проб муки с различным сроком хранения; определение проводили с периодичностью 30 суток.

Оценку прогнозируемого срока хранения пшенично-кедровой муки проводили методом ASLT с применением обоснованной модели Аррениуса, которая устанавливает зависимость константы скорости химической реакции от температуры и описывается уравнением Аррениуса:

$$k = A \cdot \exp(-Ea/RT), \quad (1)$$

где A — константа пропорциональности; Ea — энергия активации; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Для математической обработки результатов исследования нижний уровень органолептической оценки хлебобулочных изделий принят равным 60 баллам, КЧЖ — 50 мг КОН/г жира.

Определение прогнозируемого срока хранения пшенично-кедровой муки на основании результатов эксперимента проводили с использованием табличного процессора Microsoft Office Excel, методика расчета описана в работе [31].

Определение антиоксидантной емкости проб муки и хлебобулочных изделий проводили в научно-исследовательском центре «АкваХром» (Москва, Россия) с использованием 96-луночных несорбирующих микропланшетов из полистирола (Geiner Bio One, Германия) на многофункциональном фотометре-флуориметре Synergy 2 (BioTek, США). Длина волны составила 734 нм по методике, основанной на реакции обесцвечивания катион-радикала АБТС в гидрофильных и липофильных фракциях объектов. Оценку антиоксидантных характеристик проб хлебобулочных изделий проводили на основании Р-критерия.

При расчете среднего арифметического полученных экспериментальных данных (трехкратное повторение) оценивали их на однородность для исключения грубых ошибок. Математические зависимости определяли с применением метода наименьших квадратов (относительная ошибка измерений составила не более 1,78% при доверительной вероятности 0,95).

3. Результаты и обсуждение

Для получения проб комбинированной пшенично-кедровой муки было выбрано зерно пшеницы, характеристика которого приведена в Таблице 2. При определении качества пробы зерна пшеницы установлено, что значения показателей соответствовали стандарту ГОСТ 9353-2016.

Лабораторные образцы пшеничной муки, полученные без добавления кедрового ореха, имели показатели, приведенные в Таблице 3. Внесение кедрового ореха в помольную партию влияло на характеристики комбинированной пшенично-кедровой муки.

²⁰ ГОСТ 5669-96 «Хлебобулочные изделия. Методы определения пористости». Минск, Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. — 6 с.

²¹ ГОСТ 5670-96 «Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности». Минск, Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. — 6 с.

⁵ ГОСТ 171-2015 «Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия». Минск: Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2015. — 21 с.

⁶ ГОСТ Р 51574–2018 «Соль пищевая. Общие технические условия». Москва: Стандартинформ, 2018. — 8 с.

⁷ Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.1.4.1074–01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Москва: Минздрав России, 2002.

⁸ ГОСТ 10840-2017 «Зерно. Метод определения природы». Москва: Стандартинформ, 2019. — 14 с.

⁹ ГОСТ 10847-2019 «Зерно. Метод определения зольности». Москва: Стандартинформ, 2019. — 20 с.

¹⁰ ГОСТ 10987-76 «Зерно. Метод определения стекловидности». Москва: Стандартинформ, 2009. — 6 с.

¹¹ ГОСТ Р 54478–2011 «Методы определения количества и качества клейковины». Москва: Стандартинформ, 2012. — 23 с.

¹² ГОСТ 9404-88 «Мука и отруби. Метод определения влажности». Москва: Стандартинформ, 2007. — 4 с.

¹³ ГОСТ 26361-88 «Мука. Метод определения белизны». Москва: Стандартинформ, 2014. — 16 с.

¹⁴ ГОСТ 27839-2013 «Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины». Москва: Стандартинформ, 2014. — 18 с.

¹⁵ ГОСТ ISO 3093–2016 «Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хатберга-Пертена». Москва: Стандартинформ, 2019. — 12 с.

¹⁶ ГОСТ 29033-91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира». Москва: ИПК Издательство стандартов, 2009. — 6 с.

¹⁷ ГОСТ 31700-2012 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения кислотного числа жира». Москва: Стандартинформ, 2019. — 7 с.

¹⁸ ГОСТ 27669-88 «Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба». Москва: Стандартинформ, 2007. — 9 с.

¹⁹ ГОСТ 21094-2022 «Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности». Москва: Российский институт стандартизации, 2022. — 12 с.

Таблица 2. Показатели качества зерна пшеницы

Table 2. Wheat grain quality indicators

Наименование	Значение или характеристика показателя
Класс пшеницы	3
Тип	I — мягкая яровая краснозерная
Подтип	3
Цвет	Свойственный здоровому зерну
Запах	Свойственный здоровому зерну пшеницы, без плесневелого, солодового, затхлого и других посторонних запахов
Количество клейковины, %	32,0±0,5
Качество клейковины, ед. ИДК (группа)	82±2,0 (II группа)
Число падения, с	325±2,0
Стекловидность, %	44±1
Натура, г/л	785±2
Влажность, %	12,6±0,5
Сорная примесь, %	0,04±0,01
Зерновая примесь, %	2,84±0,05

Таблица 3. Характеристики проб муки

Table 3. Characteristics of flour samples

Наименование показателя	Значение показателя муки	
	пшеничной	пшенично-кедровой
Влажность, %	12,6±1,5	11,8±1,5
Количество клейковины, %	32±2	25±2
Качество клейковины, ед. ИДК (группа)	80±2,5	88±2,5
Растяжимость, см	15±1	23±1
Белизна, ед. прибора	36,3±0,3	16,5±0,5
Число падения, с	325±8	208±7
Зольность, %	1,21±0,04	1,91±0,04
Содержание жиров, %	1,30±0,05	5,63±0,06
Содержание белка, %	10,27±0,05	10,88±0,05
Содержание моно и дисахаридов, %	1,99±0,05	2,23±0,05
Содержание крахмала, %	55,9±0,4	56,2±0,4
Содержание клетчатки, %	0,73±0,05	1,89±0,05

Внесение ядер кедрового ореха в помольную партию при получении композитной муки приводило к снижению показателя влажности пшенично-кедровой муки на 0,5%. Это объясняется гидрофобными свойствами орехового компонента, содержащего жир в количестве 30,2–49,2% [32]. Формирование композитной муки сопровождалось изменением характеристик отмываемой клейковины: снижалось ее содержание, структура клейковины ослабевала и она приобретала большую растяжимость. Такое изменение свойств глиадин-глютениновой фракции композитной муки обусловлено влиянием химического состава ореха, образованием липид-белковых фракций и изменением реологического поведения водонерастворимой белковой составляющей при выделении клейковины [33,34].

В помольной партии композитной муки содержалось 10% ядер кедрового ореха, что приводило к снижению показателя белизны на 19,8±0,5 ед. прибора по сравнению с пшеничной мукой, полученной при аналогичных технологических режимах измельчения. Это объясняется химическим составом орехового компонента, в частности отсутствием в нем крахмальных зерен [2,35]. Установлено, что значение числа падения композитной муки значительно снижалось (117±8 с), что обуславливает требования к исходным характеристикам перерабатываемого сырья при промышленном производстве композитной пшенично-кедровой муки для хлебопекарных целей.

Мука, в отличие от зернового сырья, характеризуется пониженной стойкостью при хранении. Продолжительное хранение муки оказывает большое влияние на изменение вкусовых параметров продукта, что происходит за счет гидролитических реакций различной интенсивности в липидной фракции муки. Расщепление молекул триглицеридов с образованием свободных жирных кислот, в том числе и ПНЖК, является причиной снижения порога восприятия вкуса и аромата, а также

появления посторонних привкусов, запахов или прогорклости. Исследование свежести муки проводили с применением инструментальной методики по изменению кислотного числа жира. На хранение были заложены два вида муки: контрольная пшеничная и пшенично-кедровая композитная. Основным параметром при хранении, который характеризует качество продукта и нормирует срок безопасного хранения, считается кислотное число жира.

Результаты изменения показателя КЧЖ при хранении лабораторных проб пшеничной и пшенично-кедровой муки приведены на Рисунке 1.

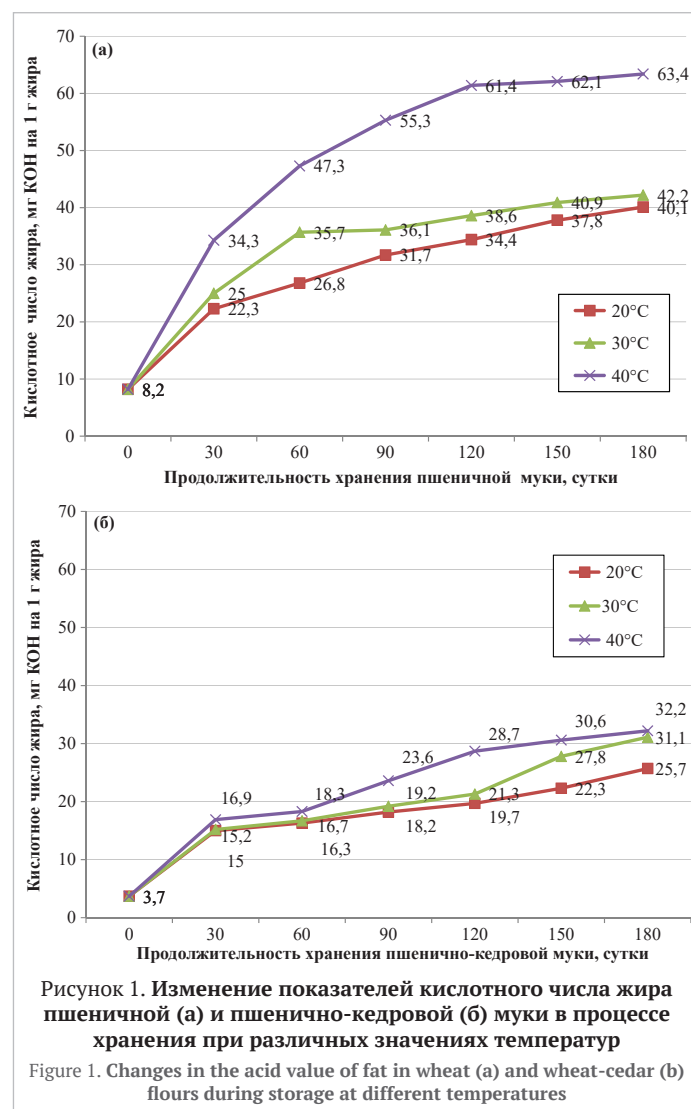


Рисунок 1. Изменение показателей кислотного числа жира пшеничной (а) и пшенично-кедровой (б) муки в процессе хранения при различных значениях температур

Figure 1. Changes in the acid value of fat in wheat (a) and wheat-cedar (b) flours during storage at different temperatures

С применением метода наименьших квадратов для математической обработки результатов проведенных исследований установили регрессионные зависимости влияния продолжительности хранения (x) лабораторных проб муки при различных температурных условиях на показатель КЧЖ вида:

$$y_1 = 10,267 + 0,324x - 0,0009x^2, \tag{1}$$

абсолютная средняя квадратическая погрешность составила 1,750; относительная — 0,870;

$$y_2 = 10,876 + 0,437x - 0,0015x^2, \tag{2}$$

абсолютная средняя квадратическая погрешность составила 2,770; относительная — 1,22;

$$y_3 = 10,95 + 0,731x - 0,0025x^2, \tag{3}$$

абсолютная средняя квадратическая погрешность составила 2,401; относительная — 0,725.

Обозначения y_1, y_2, y_3 — показатели КЧЖ проб пшеничной муки, хранение которых осуществлялось при температурах 20 °С, 30 °С, 40 °С соответственно; значения приведены в мг КОН на 1 г жира;

$$y_4 = 6,260 + 0,180x - 0,0004x^2, \tag{4}$$

абсолютная средняя квадратическая погрешность составила 2,152; относительная — 1,780;

$$y_5 = 6,286 + 0,173x - 0,0002x^2, \quad (5)$$

абсолютная средняя квадратическая погрешность составила 2,276; относительная — 1,686;

$$y_6 = 5,462 + 0,280x - 0,0007x^2, \quad (6)$$

абсолютная средняя квадратическая погрешность составила 1,820; относительная — 1,182;

Обозначения y_4 , y_5 , y_6 — показатели КЧЖ проб пшенично-кедровой муки, хранение которых осуществлялось при температурах 20 °С, 30 °С, 40 °С соответственно; значения приведены в мг КОН на 1 г жира; x — продолжительность хранения, сутки.

Проведенными исследованиями установили, что у образцов пшеничной муки КЧЖ имело более высокое значение (от 8,2 до 63,4 мг КОН на 1 г жира), чем у образцов композитной пшенично-кедровой муки (от 3,7 до 32,2 мг КОН на 1 г жира). Эти данные согласуются с результатами значений КЧЖ мелкой фракции кедрового ореха [36], которые не превышали 2 мг КОН на 1 г при хранении в течение 210 суток.

Наибольший прирост показателя КЧЖ зафиксировали у пшеничной муки при температуре 40 °С, вплоть до 63,4 мг КОН/г жира на 6-м месяце хранения, что характеризует интенсивность гидролиза жира в исследуемом образце.

Сравнительный анализ данных Рисунка 1 позволил установить постепенное увеличение показателей кислотного числа жира, которые зависели от продолжительности и температурного параметра при хранении лабораторных проб муки. Образцы пшеничной муки, заложенные на хранение при температурах 20 °С, 30 °С и 40 °С, характеризовались наибольшей интенсивностью роста кислотного числа жира.

Результаты исследований влияния продолжительности хранения и температурного фактора на изменение показателя КЧЖ проб муки с использованием уравнения Аррениуса приведены в Таблице 4.

Таблица 4. Значения коэффициентов скорости изменения КЧЖ для проб муки от температуры

Table 4. Values of the coefficients of the rate of change in the AV of fat for flour samples depending on temperature

Температура хранения, °С	Значение показателей уравнения Аррениуса		
	1/T	k	ln(k)
Пробы пшеничной муки			
20	0,003413	0,1599	-1,8333
30	0,00330	0,1627	-1,8156
40	0,003195	0,2801	-1,2725
Пробы пшенично-кедровой муки			
20	0,003413	0,1468	-1,9188
30	0,0033	0,1330	-2,0149
40	0,003195	0,1000	-2,3026

Исходя из полученной информации, уравнение Аррениуса для лабораторной пробы пшеничной муки представлено в следующем виде:

$$\ln(k) = 6,7617 - 2,5440(1/T) = 6,7617 - 2,5440(1/293) = -1,6405. \quad (7)$$

Проведенные расчеты по формуле позволили определить прогнозируемый срок хранения пробы пшеничной муки по показателю КЧЖ, который составил 218 суток и 7,2 месяца.

Уравнение Аррениуса для композитной пшенично-кедровой муки представлено в виде:

$$\ln(k) = -7,8573 + 1,7496(1/293) = -2,0788. \quad (8)$$

Прогнозируемый срок хранения разработанного продукта по показателю КЧЖ составляет 276 суток, или 9,1 месяца.

Наличие растительного жира в составе композитной пшенично-кедровой муки ($5,63 \pm 0,15\%$) гипотетически должно приводить к сокращению срока хранения разработанного продукта. Однако полученные экспериментальные данные изменения КЧЖ при хранении демонстрируют противоположную тенденцию. Полученные результаты, вероятно, связаны с несколькими факторами. Во-первых, значения показателя КЧЖ кедрового масла фактически составляют 0,49–1,72 мг КОН на 1 г жира [37], и, в соответствии с нормативными документами, не должны превышать 4,0 мг КОН на 1 г жира. Аналогичный показатель для пшеничной муки значительно выше, его фактические значения варьируются в диапазонах 12,5–20 мг КОН на 1 г жира [38], а в нормативной документации

срок хранения определен значением 50 мг КОН на 1 г жира²². Во-вторых, присутствие в составе композитной пшенично-кедровой муки позиционного изомера линоленовой кислоты — пиноленовой [39], источником которой являются измельченные совместно с зерном пшеницы ядра кедрового ореха, может влиять на стабильность липидов и замедлять окислительные процессы при хранении. В-третьих, инкапсуляция растительного масла кедрового ореха водонерастворимым глютенем и разрушенными зёрнами крахмала пшеничной муки [40] происходит самопроизвольно при реализации технологического процесса совместного помола при производстве композитной муки.

Для подтверждения прогнозируемого срока хранения исследуемых образцов осуществляли балльную оценку качества хлебобулочных изделий, приготовленных из проб пшеничной и пшенично-кедровой муки с периодичностью 30 суток на каждом этапе хранения в течение 180 дней. Результаты представлены на Рисунке 2.

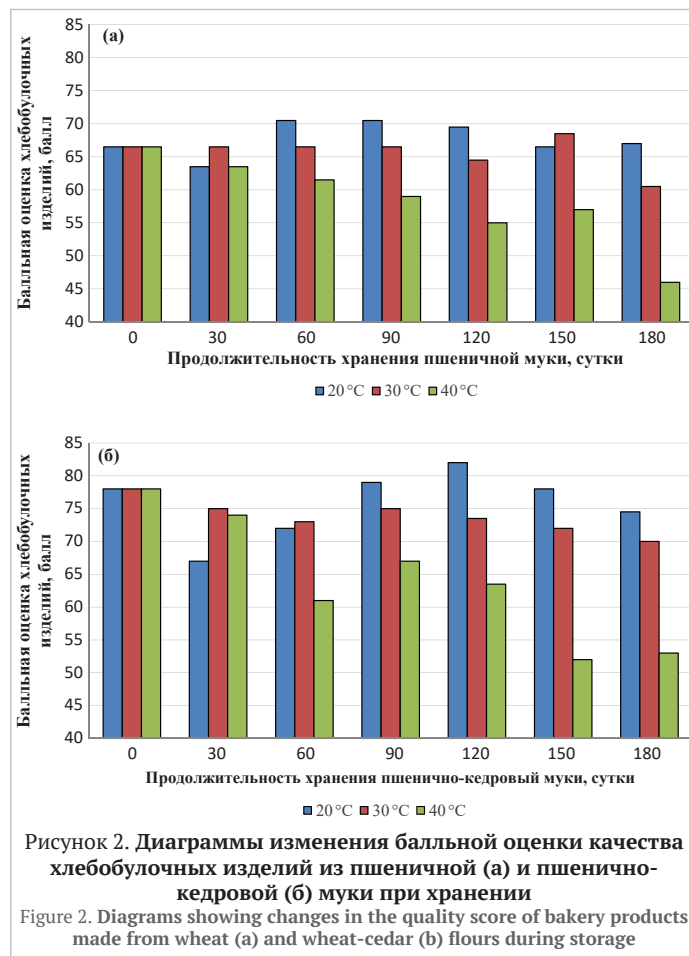


Рисунок 2. Диаграммы изменения балльной оценки качества хлебобулочных изделий из пшеничной (а) и пшенично-кедровой (б) муки при хранении

Figure 2. Diagrams showing changes in the quality score of bakery products made from wheat (a) and wheat-cedar (b) flours during storage

Следует отметить, что повышение балльной оценки качества хлебобулочных изделий, произведенных из муки, хранившейся при температуре $20 \pm 0,5$ °С, связан в первую очередь с повышением ее водопоглощательной способности и, как следствие, с увеличением формоустойчивости подовых изделий. Наблюдение за хлебопекарными свойствами проб муки, хранение которых происходило при температуре $30 \pm 0,5$ °С, показало снижение характеристик приготовленных из них изделий.

Математическая обработка данных с применением уравнения Аррениуса по показателям балльной оценки хлебобулочных изделий из пшеничной муки представлена в виде:

$$\ln(k) = 19,1802 - 6,8194(1/293) = -3,4168. \quad (9)$$

Расчетный показатель срока хранения составил 215 суток, или 7,1 месяца, что отличается от ранее полученных значений прогнозируемого срока хранения по КЧЖ на 1,4 %.

Для проб хлебобулочных изделий из композитной пшенично-кедровой муки уравнение получено в виде:

$$\ln(k) = 20,1942 - 7,0363(1/293) = -3,0448. \quad (10)$$

²² ГОСТ 26574-2017 «Мука пшеничная хлебопекарная». Москва: Стандартинформ, 2018–12 с.

Прогнозируемый показатель срока хранения равен 269 суткам, или 8,8 месяцам, что отличается от показателя срока хранения, прогнозируемого по кислотному числу, на 2,6%.

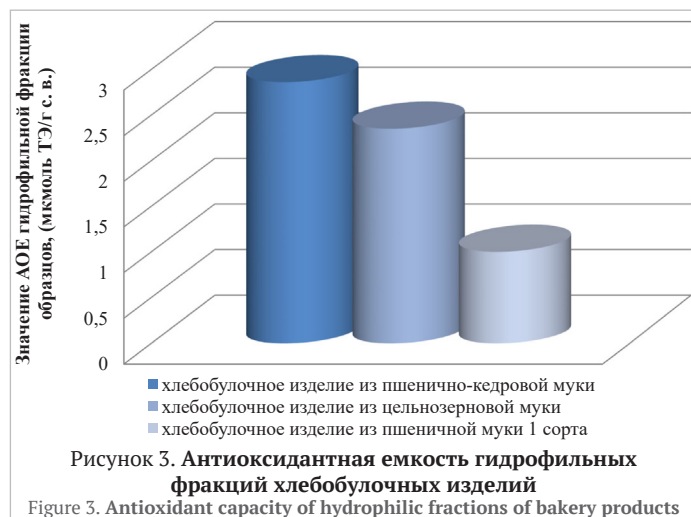
Таким образом, использование кедрового ореха в составе композитных мучных смесей не оказывало отрицательного влияния на показатель кислотного числа жира продукции, прогнозируемый срок хранения композитной пшенично-кедровой муки составил не менее 8 месяцев.

На следующем этапе проводили оценку антиоксидантных характеристик пшенично-кедровой муки и проб хлебобулочных изделий в сравнении с показателями изделий, приготовленных из муки пшеничной различных сортов. Антиоксидантную способность лабораторных проб муки оценивали спектрофотометрическим методом по отношению к катион-радикалу АБТС. Данный метод применяется в международной практике для сравнения и стандартизации растительных источников и пищевых добавок [41–43]. Установленные значения антиоксидантной емкости композитной пшенично-кедровой муки составили $0,32 \pm 0,03$ и $5,22 \pm 0,14$ мкмоль ТЭ/г с.в. для липофильной и гидрофильной фракций соответственно.

Полученные значения для хлебобулочных изделий приведены на Рисунке 3 и Рисунке 4.

Результаты сравнительной оценки антиоксидантных характеристик хлебобулочных изделий, выработанных из исследуемых проб муки, показали повышенные значения как для гидрофильной, так и для липофильной фракции мякиша изделий из композитной пшенично-кедровой муки. Обобщенной характеристикой антиоксидантных свойств хлебобулочных изделий является Prioq-критерий [44]. Его значение для изделий, полученных из композитной пшенично-кедровой муки, составило 0,26, что выше значения для изделий из цельнозерновой муки (0,10) и пшеничной муки 1-го сорта (0,07).

Окислительный стресс, определяемый как дисбаланс между продукцией активных форм кислорода (ROS) и антиоксидантной защитой, считается ключевой движущей силой, которая увеличивает восприимчивость к развитию возрастных патологий. В настоящее время многочисленные активаторы транскрипционного фактора NRF2, принадлежащие к различным химическим классам, находятся на разных стадиях обоснования и клинической разработки. К числу таких соединений относятся пищевые биологически активные вещества, включая куркумин, производные фумаровой кислоты, изотиацианат сульфорафан, ресвератрол и жирные кислоты [45].



бобулочные изделия из пшенично-кедровой муки обладают антиоксидантными свойствами, обусловленными наличием биологически активных веществ в составе композитной муки. Гипотетически, именно благодаря их наличию и воздействию на липидные компоненты композитной муки процесс гидролиза жиров идет с меньшей скоростью, что можно наблюдать по динамике прироста показателя КЧЖ при хранении пшенично-кедровой муки.

4. Выводы

В результате проведенных исследований установлены хранимостепособность и антиоксидантные характеристики композитной пшенично-кедровой муки и хлебобулочных изделий, выработанных на ее основе.

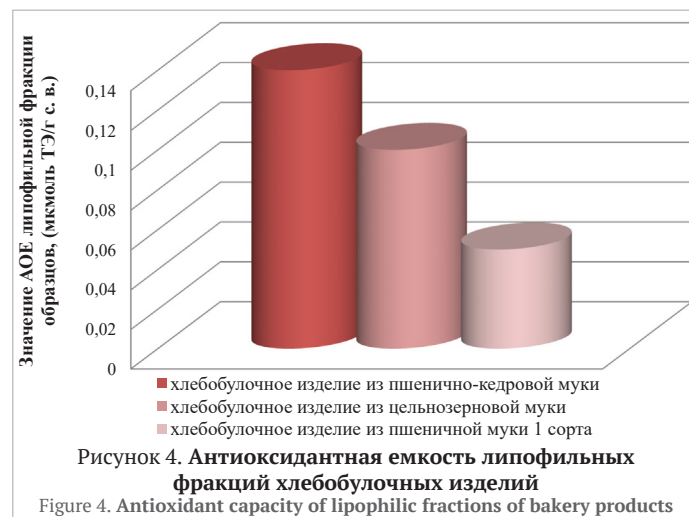
Введение ядер кедрового ореха в помольную партию зерновой смеси в количестве 10% приводит к увеличению жира в 4,5 раза и белка на 9,6% в композитной пшенично-кедровой муке. При этом продукт обретает характерный кедровый аромат, что положительно влияет на органолептическую оценку продуктов.

Проведена сравнительная оценка показателей качества пшеничной и композитной пшенично-кедровой муки. Установлено, что внесение ядер кедрового ореха снижает показатели влажности, белизны, числа падения и содержания клейковины; также отмечено ее ослабление и увеличение растяжимости.

Выявлен характер изменения показателя КЧЖ пшеничной и пшенично-кедровой муки при хранении в течение 180 суток при температурах 20°C, 30°C и 40°C, что позволило спрогнозировать сроки хранения композитной пшенично-кедровой муки. Установлено, что применение ядер кедрового ореха в составе композитной пшенично-кедровой муки не повышает прирост показателя КЧЖ. Прогнозируемый срок хранения композитной пшенично-кедровой муки составил не менее 8 месяцев.

Установлены антиоксидантные характеристики композитной пшенично-кедровой муки: значения составили $0,32 \pm 0,03$ и $5,22 \pm 0,14$ мкмоль ТЭ/г с.в. для липофильной и гидрофильной фракций соответственно. Для проб хлебобулочных изделий, выработанных на ее основе, значение Prioq-критерия составило 0,26, что превышает аналогичные значения для пшеничных изделий из цельнозерновой муки (0,10) и из муки пшеничной хлебопекарной 1-го сорта (0,07).

Таким образом, композитная пшенично-кедровая мука может быть рекомендована для промышленного производства и выработки продукции повышенной пищевой ценности.



Таким образом, проведенные исследования показали, что хле-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Егорова, Е. Ю., Поздняковский, В. М. (2010). Пищевая ценность кедровых орехов Дальнего Востока. *Известия вузов. Пищевая технология*, 4(316), 21–24. [Egorova, E. Yu., Pozdnyakovskiy, V. M. (2010) Alimentary value of the Far East cedar nuts. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 4, 21–24. (In Russian)]
- Baker, E. J., Miles, E. A., Calder, P. C. (2021). A review of the functional effects of pine nut oil, pinolenic acid and its derivative eicosatrienoic acid and their potential health benefits. *Progress in Lipid Research*, 82, Article 101097. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2021.101097>
- Гагаро, М. А., Калашникова, С. П., Соловьев, В. Г., Никонова, Л. Г. (2023). Доступные пищевые источники полиненасыщенных жирных кислот в условиях северного региона. *Научный медицинский вестник Югры*, 37(3), 8–14. [Gagar, M. A., Kalashnikova, S. P., Solovyov, V. G., Nikonova, L. G. (2023). Available food sources of polyunsaturated fatty acids in the conditions of the northern region. *The Scientific and Practical Journal of Medicine*, 37(3), 8–14. (In Russian)] <https://doi.org/10.25017/2306-1367-2023-37-3-8-14>
- Wolff, R. L., Comps, B., Marpeau, A. N., Deluc, L. G. (1997). Taxonomy of pinus species based on the seed oil fatty acid compositions. *Trees*, 12(2), 113–118. <https://doi.org/10.1007/pl00009698>
- Takala, R., Ramji, D. P., Choy, E. (2023). The beneficial effects of pine nuts and its major fatty acid, pinolenic acid, on inflammation and metabolic perturbations in inflammatory disorders. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(2), Article 1171. <https://doi.org/10.3390/ijms24021171>

6. Takala, R., Ramji, D.P., Andrews, R., Zhou, Y., Farhat, M., Elmajee, M. et al. (2022). Pinolenic acid exhibits anti-inflammatory and anti-atherogenic effects in peripheral blood-derived monocytes from patients with rheumatoid arthritis. *Scientific Reports*, 12(1), Article 8807. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12763-8>
7. Chen, S.-Ju., Huang, W.-Ch., Shen, H.-J., Chen, R.-Y., Chang, H., Ho, Y.-S. et al. (2020). Investigation of modulatory effect of pinolenic acid (PNA) on inflammatory responses in human THP-1 macrophage-like cell and mouse models. *Inflammation*, 43(2), 518–531. <https://doi.org/10.1007/s10753-019-01134-7>
8. Посокина, Н. Е., Захарова, А. И. (2023). Современные нетермические способы обработки растительного сырья, применяемые для увеличения его хранимоспособности. *Пищевые системы*, 6(1), 4–10. [Posokina, N. E., Zakharova, A. I. (2023). Modern non-thermal methods of processing plant raw materials used to increase its storage capacity. *Food Systems*, 6(1), 4–10. (In Russian)] <https://doi.org/10.21523/2618-9771-2023-6-1-4-10>
9. Посокина, Н. Е., Захарова, А. И. (2024). Современные биологические способы обработки растительного сырья, применяемые для увеличения его хранимоспособности. *Пищевые системы*, 7(2), 298–304. [Posokina, N. E., Zakharova, A. I. (2024). Modern biological methods of processing plant raw materials used to increase its storage capacity. *Food Systems*, 7(2), 298–304. (In Russian)] <https://doi.org/10.21523/2618-9771-2024-7-2-298-304>
10. Захарова, А. С., Егорова, Е. Ю. (2021). Медовый мармелад с ядром кедровых орехов. *Ползуновский вестник*, 1, 20–26. [Zakharova, A. S., Egorova, E. Y. (2021). Honey marmalade with pine nut kernels. *Polzunovskiy Vestnik*, 20–26. (In Russian)] <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.003>
11. Владимцева, Т. М., Козина, Е. А. (2022). Изучение показателей качества и безопасности влияния кедрового полуфабриката на свойства полутвердого сыра. *Вестник КрасГАУ*, 5, 161–169. [Vladimtseva, T. M., Kozina, E. A. (2022). Studying quality and safety indicators of the cedar semifinished products effect on the semi-hard cheese properties. *Bulletin KrasSAU*, 5, 161–169. (In Russian)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-5-161-169>
12. Мазалевский, В. Б. (2023). Влияние компонентов рецептуры на технические характеристики кедрового напитка. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 102–114. [Mazalievskiy, V. B. (2023). Influence of the recipe components on the technical characteristics of the pine nuts and oil cake beverages. *Storage and Processing of Farm Products*, 3, 102–114. (In Russian)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.419>
13. Туманова, А. Е., Типсина, Н. Н., Демиденко, Г. А., Струпан, Е. А., Сизых, О. А. (2024). Применение кедрового жмыха в производстве печенья. *Хлебопродукты*, 8, 49–53. [Tumanova, A. E., Tipsisina, N. N., Demidenko, G. A., Strupan, E. A., Sizykh, O. A. (2024). The use of cedar cake in the production of cookies. *Khelebroprodukt*, 8, 49–53. (In Russian)] <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2024-33-8-49-53>
14. Гончар, В. В., Шульвинская, И. В., Зайченко, Е. Ю. (2008). Использование кедровых орехов при производстве заварных пряничных изделий. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 2–3(303–304), 52–54. [Gonchar, V. V., Shulvinskaya, I. V., Zaichenko, E. Y. (2008). The use of pine nuts in production of choux gingerbread confectionary. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 2–3(303–304), 52–54. (In Russian)]
15. Росляков, Ю. Ф., Гончар, В. В., Шульвинская, И. В., Зайченко, Е. Ю. (2007). Применение ядра орехов кедровой сибирской сосны (*Pinus Sibirica*) в производстве мучных кондитерских изделий функционального назначения. *Фундаментальные исследования*, 7, 89–90. [Roslyakov, Yu. F., Gonchar, V. V., Shulvinskaya, I. V., Zaichenko, E. Y. (2007). The use of kernels of Siberian stone pine (*Pinus Sibirica*) nuts in production of functional flour confectionary. *Fundamental Research*, 7, 89–90. (In Russian)]
16. Лю, Я. (2016). Разработка рецептур и технологии хлеба с порошком из жмыха кедровых орехов. *Вестник КрасГАУ*, 2(113), 112–118. [Lu, Ya. (2016). The development of recipes and technology of bread with the cake pine nuts powder. *Bulletin of KSAU*, 2(113), 112–118. (In Russian)]
17. Acorsi, D. M., Bezerra, J. R. M. V., Barão, M. Z., Rigo, M. (2009). Viability of cookie-processing with Paraná pine nut flour. *Ambiência-Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, 5(2), 207–212. (In Portuguese)
18. Silva, S. P., Coreta-Gomes, F., Coimbra, M. A., Coelho, E. (2024). Pine nut skin as a source of phytosterols and alkanediols – Hypocholesterolemic potential and development of sustainable vegan emulsifiers. *LWT*, 197, Article 115934. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115934>
19. Davinelli, S., Medoro, A., Intrieri, M., Saso, L., Scapagnini, G., Kang, J. X. (2022). Targeting NRF2–KEAP1 axis by Omega-3 fatty acids and their derivatives: Emerging opportunities against aging and diseases. *Free Radical Biology and Medicine*, 193(Pt 2), 736–750. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2022.11.017>
20. Типсина, Н. Н., Толмачева, Т. А. (2022). Обеспечение контроля качества и пищевой безопасности орехоплодного сырья. *Вестник КрасГАУ*, 5(182), 249–256. [Tipsisina, N. N., Tolmacheva, T. A. (2022). Ensuring quality control and food security of nut-bearing raw materials. *Bulletin of KSAU*, 5(182), 249–256. (In Russian)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-5-249-256>
21. Silva, E. F. R., da Silva Santos, B. R., Minhõ, L. A. C., Brandão, G. C., de Jesus Silva, M., Silva, M. V. L. et al. (2022). Characterization of the chemical composition (mineral, lead and centesimal) in pine nut (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze) using exploratory data analysis. *Food Chemistry*, 369, Article 130672. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130672>
22. Moscetti, R., Berhe, D. H., Agrimi, M., Haff, R. P., Liang, P., Ferri, S. et al. (2021). Pine nut species recognition using NIR spectroscopy and image analysis. *Journal of Food Engineering*, 292, Article 110357. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110357>
23. Витол, И. С., Мелешкина, Е. П. (2024). Композитные виды муки. Часть 2. Обогащение пшеничной муки нетрадиционными видами растительного сырья (обзор). *Пищевая промышленность*, 5, 39–43. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P. (2024). Composite flours. Part 2. Enrichment of wheat flour with cereals, legumes and oilseeds (review). *Food Industry*, 5, 39–43. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.5.5.011>
24. Витол, И. С., Мелешкина, Е. П. (2024). Композитные виды муки. Часть 3. Мука, полученная при совместном размоле зерносмесей, и мучные (хлебопекарные) смеси из отдельных видов муки (обзор). *Пищевая промышленность*, 6, 76–83. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P. (2024). Composite flours. Part 3. Flour obtained by joint grinding of mixtures and flour (baking) mixtures from individual types of flour (review). *Food Industry*, 6, 76–83. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.6.6.016>
25. Самчук, Т. В., Осипчук, И. Р., Кечкин, И. А., Белявская, И. Г. (2022). Совершенствование технологии хлебобулочных изделий путем применения пшенично-ореховой муки на основе кедрового ореха. *Хлебопродукты*, 8, 32–35. [Samchuk, T. V., Osipchuk, I. R., Kechkin, I. A., Belyavskaya, I. G. (2022). Improving the technology of bakery products by using wheat-nut flour based on pine nuts. *Khelebroprodukt*, 8, 32–35. (In Russian)] <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2022-31-8-32-35>
26. Щетинин, М. П., Фролова, А. Е. (2021). Исследование показателей качества кондитерской пасты с мукой подсолнечной. *Вопросы питания*, 90(3(535)), 116–124. [Shchetinin, M. P., Frolova, A. E. (2021). Research of quality indicators of confectionery paste with sunflower flour. *Problems of Nutrition*, 90(3(535)), 116–124. (In Russian)] <https://doi.org/10.33029/0042-8835-2021-90-3-116-124>
27. Сорочинский, В. Ф., Приезжева, Л. Г. (2017). Математическая модель прогнозирования сроков безопасного хранения и годности пшеничной хлебопекарной муки. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 12, 24–27. [Sorochinsky, V. F., Priezzheva, L. G. (2017). A mathematical model to predict the timing of safe storage and shelf life of wheat bread flour. *Storage and Processing of Farm Products*, 12, 24–27. (In Russian)]
28. Панкратов, Г. Н., Мелешкина, Е. П., Витол, И. С., Коломиец, С. Н., Кечкин, И. А. (2021). Пшенично-льняная мука: условия получения и возможность хранения. *Пищевая промышленность*, 2, 55–59. [Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kolomiets, S. N., Kechkin, I. A. (2021). Wheat-flaxseed flour: The conditions for obtaining and storage capability. *Food Industry*, 2, 55–59. (In Russian)] <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-2-0019>
29. Яицких, А. В., Ванина, Л. В., Цыгаркина, А. С. (2024). Методы определения кислотного числа жира зерна и продуктов его переработки. *Хлебопечение России*, 68(1), 34–44. [Yaitskikh, A. V., Vanina, L. V., Tsygarkina, A. S. (2024). Methods for determining the acid number of grain fat and its processing products. *Bakery of Russia*, 68(1), 34–44. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-298-304>
30. Осипчук, И. Р., Всемирнов, А. С., Белявская, И. Г., Дубцова, Г. Н. (6 июня, 2023) *Изучение технологических свойств пшенично-кедровой муки*. Сборник материалов V международной научно-практической молодежной конференции, посвященной памяти Р. Д. Поландовой. Пищевые технологии будущего: инновационные идеи, научный поиск, креативные решения. Москва, Россия. Белый Берег, 2023. [Osipchuk, I. P., Vsemirnov, A. S., Belyavskaya, I. G., Dubtsova, G. N. (June 6, 2023). *Researching of the technological properties for wheat and cedar flour*. Proceedings of the 5th International Scientific-practical youth conference dedicated to the memory of R. D. Polandova. Food technologies of the future: Innovative ideas, scientific search, creative solutions. Moscow, Russia. Bely Veter, 2023. (In Russian)]
31. Дубцова, Г. Н., Максимов, А. С., Пономарева, С. М., Протункевич, И. В., Колмыков, Д. М. (2024). Метод ускоренного тестирования срока годности пищевых концентратов. *Пищевая промышленность*, 12, 110–115. [Dubtsova, G. N., Maksimov, A. S., Ponomareva, S. M., Protunkевич, I. V., Kolmykov, D. M. (2024). Method of accelerated testing of shelf life of food concentrates. *Food Industry*, 12, 110–115. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.12.12.022>
32. Loewe-Muñoz, V., Noel, D. (2021). Mediterranean *Pinus pinea* L. nuts from Southern Hemisphere provenances. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 32, 181–189. <https://doi.org/10.1007/s12210-021-00980-8>
33. Georgopoulos, T., Larsson, H., Eliasson, A.-C. (2006). Influence of native lipids on the rheological properties of wheat flour dough and gluten. *Journal of Texture Studies*, 37(1), 49–62. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2006.00038.x>
34. Rocca-Smith, J. R., Marcuzzo, E., Karbowiak, T., Centa, J., Giacometti, M., Scapin, F. et al. (2016). Effect of lipid incorporation on functional properties of wheat gluten based edible films. *Journal of Cereal Science*, 69, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.04.001>
35. Adelina, N. M., An, J., Guo, Q., Zhang, L., Zhao, Y. (2024). Physicochemical quality and conditions. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(4), 2878–2893. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02365-5>
36. Субботина, М. А., Лобова, Т. В., Долголюк, И. В. (2016). Исследование процесса послеуборочного дозревания семян сосны кедровой сибирской. *Техника и технология пищевых производств*, 42(3), 84–87. [Subbotina, M. A., Lobova, T. V., Dolgolyuk, I. V. (2016). Study on post-harvest ripening of pinons of Siberian stone pine. *Food Processing: Techniques and Technology*, 42(3), 84–87. (In Russian)]
37. Байтукалов, Т. А., Богословская, О. А., Глушенко, Н. Н., Орехова, О. И., Ольховская, И. П. (2004). Физико-химические показатели кедрового и льняного масел и создание лекарственных форм на их основе. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина*, 4, 253–256. [Baytukalov T. A., Bogoslovskaya O. A., Glushchenko N. N., Orekhova O. I., Olhovskaya I. P. (2004). Physico-chemical characteristics of cedar pine and flax oils and new medicinal form with them. *RUDN Journal of Medicine*, 4, 253–256. (In Russian)]
38. Приезжева, Л. Г., Сорочинский, В. Ф., Мелешкина, Е. П. (20–21 марта, 2015). *Кислотное число жира — показатель безопасного хранения и реализации зернопродуктов*. Труды XII Международной научно-практической конференции Пища. Экология. Качество, Москва, Россия. [Priezzheva, L. G., Sorochinsky, V. F., Meleshkina, E. P. (March 20–21, 2015). *Acid value of fat — an indicator of safe storage and sale of cereal products*. Proceedings of the 12th International scientific practical conference “Food. Ecology. Quality”. Moscow, Russia. (In Russian)]
39. Matsuo, N., Osada, K., Kodama, T., Lim, B. O., Naka, A., Yamada, K. et al. (1996). Effects of γ -linolenic acid and its positional isomer pinolenic acid on immune parameters of Brown-Norway rats. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 55(4), 223–229.
40. Geranpour, M., Assadpour, E., Jafari, S. M. (2020). Recent advances in the spray drying encapsulation of essential fatty acids and functional oils. *Trends in Food Science and Technology*, 102, 71–90. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.028>
41. Prior, R. L., Cao, G., Prior, R. L., Cao, G. (2000). Analysis of botanicals and dietary

- supplements for antioxidant capacity: A review. *Journal of AOAC International*, 83(4), 950–956.
42. Jimenez-Alvarez, D., Giuffrida, F., Vanrobaeys, F., Golay, P. A., Cotting, C., Lardeau, A. et al. (2008). High-throughput methods to assess lipophilic and hydrophilic antioxidant capacity of food extracts in vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10), 3470–3477. <https://doi.org/10.1021/jf703723s>
43. Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., Prior, R. L. (2004). Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(12), 4026–4037. <https://doi.org/10.1021/jf049696w>
44. Белявская, И. Г. (2018). Антиоксидантные свойства хлебобулочных изделий из пшеничной муки с использованием нетрадиционных видов сырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 8–19. [Belyavskaya, I. G. (2018). Antioxidant properties of bakery products from wheat flour using non-traditional raw materials. *Storage and Processing of Farm Products*, 3, 8–19. (In Russian)]
45. Haouet, M. N., Tommasino, M., Mercuri, M. L., Benedetti, F., Di Bella, S., Framboas, M. et al. (2019). Experimental accelerated shelf life determination of a ready-to-eat processed food. *Italian Journal of Food Safety*, 7(4), Article 6919. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2018.6919>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Белявская Ирина Георгиевна — доктор технических наук, доцент, профессор, кафедра зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий, Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 E-mail: belyavskaya@mgupp.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1924-2985 * автор для контактов</p> <p>Дубцова Галина Николаевна — доктор технических наук, профессор, кафедра «Биотехнология и биоорганический синтез», Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 E-mail: doubtsova@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6520-394X</p> <p>Осипчук Иван Романович — аспирант, кафедра зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий, Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 E-mail: osipchuk22@inbox.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6281-618X</p>	<p>Irina G. Belyavskaya, Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor, Department of Grains, Bakery and Confectionery Technologies, Russian Biotechnological University 11, Volokolamskoe shosse, 125080, Moscow, Russia E-mail: belyavskaya@mgupp.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1924-2985 * corresponding author</p> <p>Galina N. Dubtsova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Biotechnology and Bioorganic Synthesis, Russian Biotechnological University 11, Volokolamskoe shosse, 125080, Moscow, Russia E-mail: doubtsova@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6520-394X</p> <p>Ivan R. Osipchuk, Graduate Student, Department of Grains, Bakery and Confectionery Technologies, Russian Biotechnological University 11, Volokolamskoe shosse, 125080, Moscow, Russia E-mail: osipchuk22@inbox.ru ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6281-618X</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.</p>	<p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.</p>	<p>The authors declare no conflict of interest</p>