

Научная статья/Research article

УДК 641.55

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-352-367

Дарья Андреевна Черемных<sup>1✉</sup>, Галина Александровна Губаненко<sup>2</sup>,  
Валентина Ивановна Яровая<sup>3</sup>, Екатерина Александровна Речкина<sup>4</sup>,  
Ольга Владимировна Киселева<sup>5</sup>

<sup>1,2</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

<sup>3,5</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

<sup>4</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>1</sup>darya.cheremnykh.94@mail.ru

<sup>2</sup>gubanenko@list.ru

<sup>3</sup>welta0007@mail.ru

<sup>4</sup>rechkina.e@list.ru

<sup>5</sup>ufimceva-olga@mail.ru

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СНЕКОВ ИЗ ПАПОРОТНИКА

Цель исследования – разработка технологии получения и оценка качества снеков из папоротника. Изученная структура ассортимента продукции из папоротника орляк обыкновенный показывает, что 57 % от объема реализуемой продукции занимает соленый папоротник, что становится «точкой роста» для производства продукции с применением различных видов сушки. Химический состав, своеобразные органолептические показатели пищевого растения, произрастающего на территории Красноярского края, определяют его ценность как потенциального сырья для производства «полезных продуктов для быстрого перекуса». Объекты исследования – образцы подготовленного папоротника, высушенного с применением ИК и сублимационной сушки, снеки. Применяли общепринятые методы исследования. На основе комплексной оценки органолептических показателей обоснован выбор сублимационной сушки для производства снеков из папоротника. Данный способ позволяет получить желаемые внешний вид, текстуру, вкус продукта, которые являются определяющими при выборе снеков. Были установлены оптимальные значения технологических параметров процесса (продолжительность сублимационной сушки  $X_1 = 26$  ч; вымачивание соленого папоротника  $X_2 = 6$  ч; толщина слоя  $X_3 = 0,5$  см; размер частиц  $X_4 = 5$  см) и контролируемые факторы качества снеков (влажность  $Y_1 = 8,4$  %; органолептическая оценка  $Y_2 = 24,8$  б; содержание белка  $Y_3 = 27$  %). Пищевая ценность снеков характеризуется наличием 25 г белка, доля незаменимых аминокислот – 44 %, количество жира составляет 2,8 г, доминирующими жирными кислотами являются линолевая и пальмитиновая. Степень удовлетворения суточной потребности составляет: в отношении витаминов – А – 20 %; РР – 22; С – 35; цинка – 31; фосфора – 41; железа – 61; пищевых волокон – 133; пектиновых веществ – 270 % при употреблении 100 г снеков. Разработанная технология получения нового функционального продукта – снеков из папоротника расширяет потенциал его использования.

**Ключевые слова:** папоротник орляк обыкновенный, дикорастущее растительное сырье, снеки, сублимационная сушка, технологические параметры сушки папоротника, технология получения снеков, функциональные продукты

**Для цитирования:** Черемных Д.А., Губаненко Г.А., Яровая В.И., и др. Технология получения и оценка качества снеков из папоротника // Вестник КрасГАУ. 2025. № 9. С. 352–367. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-352-367.

Daria Andreevna Cheremnykh<sup>1✉</sup>, Galina Aleksandrovna Gubanenکو<sup>2</sup>, Valentina Ivanovna Yarovaya<sup>3</sup>, Ekaterina Aleksandrova Rechkina<sup>4</sup>, Olga Vladimirovna Kiseleva<sup>5</sup>

<sup>1,2</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3,5</sup>Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

<sup>4</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup>darya.cheremnykh.94@mail.ru

<sup>2</sup>gubanenکو@list.ru

<sup>3</sup>welta0007@mail.ru

<sup>4</sup>rechkina.e@list.ru

<sup>5</sup>ufimceva-olga@mail.ru

## TECHNOLOGY OF OBTAINING AND QUALITY EVALUATION OF FERN SNACKS

*The objective of the study is to develop a technology for obtaining and assessing the quality of fern snacks. The studied structure of the range of products made from the common bracken fern shows that 57 % of the volume of sold products is salted fern, which becomes a "growth point" for the production of products using various types of drying. The chemical composition, unique organoleptic indicators of the food plant growing in the Krasnoyarsk Region determine its value as a potential raw material for the production of "healthy products for a quick snack". The objects of the study are samples of prepared fern dried using IR and freeze drying, snacks. Generally accepted research methods were used. Based on a comprehensive assessment of organoleptic indicators, the choice of freeze drying for the production of fern snacks is justified. This method allows you to get the desired appearance, texture, taste of the product, which are decisive when choosing snacks. The optimal values of the technological process parameters (duration of freeze-drying  $X_1 = 26$  h; soaking of salted fern  $X_2 = 6$  h; layer thickness  $X_3 = 0.5$  cm; particle size  $X_4 = 5$  cm) and controlled factors of snack quality (moisture  $Y_1 = 8.4$  %; organoleptic assessment  $Y_2 = 24.8$  b; protein content  $Y_3 = 27$  %) were established. The nutritional value of snacks is characterized by the presence of 25 g of protein, the share of essential amino acids is 44 %, the amount of fat is 2.8 g, the dominant fatty acids are linoleic and palmitic. The degree of satisfaction of the daily requirement is: in relation to vitamins – A – 20 %, PP – 22, C – 35 %; zinc – 31 %, phosphorus – 41, iron – 61, dietary fiber – 133, pectin substances – 270 % when consuming 100 g of snacks. The developed technology for obtaining a new functional product – snacks from fern expands the potential of its use.*

**Keywords:** bracken fern, wild plant raw materials, snacks, freeze-drying, technological parameters of drying fern, technology of obtaining snacks, functional products

**For citation:** Cheremnykh DA, Gubanenکو GA, Yarovaya VI, et al. Technology of obtaining and quality evaluation of fern snacks. *Bulletin of KSAU*. 2025;(9):352-367. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-352-367.

**Введение.** Современный ритм жизни человека определяет необходимость включения между основными приемами пищи дополнительных перекусов, которые помогают поддерживать энергетический баланс, обеспечивают чувство сытости за счет питательных веществ и пищевых волокон. Перспективными продуктами питания для этих целей являются фруктовые или овощные снеки. В настоящий момент рынок снеков переживает бурный рост, предлагая все более разнообразные и инновационные продукты, которые отвечают растущему спросу на здоровое и быстрое питание. Тонко нарезанные, высушенные дольки фруктов, ягод или овощей становятся все более популярными благодаря своему хрустящей текстуре, раз-

нообразным вкусам и концентрации макро- и микронутриентов.

Снеки из папоротника могут претендовать на вход в сегмент «продуктов здорового питания», так как химический состав, специфические органолептические показатели пищевого растения, произрастающего на территории Красноярского края, определяют его ценность как потенциального растительного сырья для производства «полезных продуктов для быстрого перекуса».

Папоротник (*Pteridium aquilinum* L.) является пищевым многолетним травянистым растением, содержащим белки (26,4 %), сахара (19 %), крахмал (2,75 %), целлюлозу (12,5 %), лигнин (11,7 %), пектиновые вещества (5 %) и гемицеллюлозу. В химический состав папоротника определены витамины (A, B<sub>2</sub>, C, E, PP), микро – и

макроэлементы [1–4]. Содержащийся крахмал в *Pteridium aquilinum* L. включает в состав амилозу (22,6 и 24,7 %), которая по структуре схожа с некоторыми сортами риса, это придает папоротнику особые кулинарные свойства [5]. В проведенном нами ранее исследовании [6] установлено содержание белка до 27 % на а.с.с., идентифицирован состав аминокислот, в том числе незаменимых. Выявили незначительное влияние места промышленной заготовки папоротника на количественное содержание белка и состав аминокислот, но наибольшее количество аминокислот обнаружено в составе белка папоротника, произрастающего в южной части Западных Саян.

Качество готового продукта формирует не только используемая технология переработки растительного сырья, но и их химический состав, свойства. Изученная нами [7, 8] структура ассортимента продукции на основе папоротника позволила выявить ограниченный ассортимент (5 видов) выпускаемой продукции на территории России, из них на рынке преобладает соленый папоротник (57 %). С территории Красноярского края до 2020 г. на азиатский рынок экспортировали только соленый папоротник в значительных объемах. С 2021 г. ситуация изменилась на внешнем рынке и количество экспортируемого папоротника резко снизилось. Это стало новой задачей для производства новых видов продукции на основе папоротника, решение которой поможет диверсифицировать ассортимент продукции и удовлетворить потребности различных сегментов рынка.

Сезонный характер заготовки дикорастущих пищевых растений определяет способы консервирования растительного сырья, предпочтительным считается метод сушки, который предотвращает порчу и концентрирует полезные вещества в готовом продукте [9, 10].

В настоящее время одними из востребованных способов сушки считаются инфракрасная (ИК-сушка) и сублимационная сушки, которые гарантируют качество получаемой продукции [9, 10]. ИК-сушка обеспечивает высокую скорость удаления влаги из сырья при температуре 40–70 °С, что позволяет сохранить до 85 % нативных свойств продукта [10]. При сублимационной сушке удаление влаги из продукта происходит за счет давления в два этапа: возгонка льда из замороженного продукта и тепловая досушка в вакууме [9, 10]. Данный способ исключает негативное термическое воздействие

на компоненты растительного сырья за счет того, что большая часть влаги удаляется из сырья в замороженном состоянии, а досушивание происходит при невысоких температурах. Таким образом, качественные показатели, включающие химический состав и реологические свойства получаемого продукта, приближены к показателям натурального растительного сырья [10].

**Цель исследования** – разработка технологии получения и оценка качества снеков из папоротника.

**Задачи:** обосновать выбор способа сушки подготовленного из соленого папоротника для получения снеков; определить оптимальные технологические параметры получения снеков с заданными характеристиками; исследовать химический состав, определить регламентируемые показатели качества снеков; провести анализ пищевой ценности снеков из сублимированного папоротника.

**Объекты и методы.** В качестве объекта исследования использован соленый папоротник орляк обыкновенный. Технологические этапы переработки соленого папоротника с целью получения снеков:

1) подготовка папоротника: соленый папоротник вымачивают в холодной воде при температуре 10 °С в течение 6 ч, смену воды производят 3 раза (значение гидромодуля составляет 1 : 4), обсушивают, нарезают подготовленные стебли растения длиной 5 см;

2) сушку подготовленного папоротника осуществляют двумя способами при щадящих температурных режимах для достижения влажности продукта 8–9 %: ИК-сушка в аппарате ПСК-1000-2020 – образец № 1 и сублимационная сушка в аппарате LP10 – образец № 2.

Органолептическая оценка высушенных образцов папоротника проводилась по ГОСТ 32065-2013 на кафедре технологии и организации общественного питания преподавателями и студентами. В дегустации приняли участия 80 человек – 25 преподавателей и 55 студентов.

Полученный результат по оценке органолептических показателей снеков обрабатывались методом регрессионного анализа в программе MS Excel. Влажность растительного сырья определяли в соответствии с ОФС.1.5.3.0007.15. Количество витамина С установили титрометрическим методом, А – колориметрическим. Содержание белка определяли спектрофотометрическим методом. Оптическую плотность измеряли на ФЭКе (КФК-2, «ЗОМЗ») при длине волны

350 нм в соответствии с ОФС.1.2.3.0012.15. Биологическую ценность белков рассчитывали методом, представленным в работе [11].

Определение микро- и макроэлементов, аминокислотного состава образцов проведено в аналитической лаборатории Института биофизики СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск). Элементный анализ – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС). Метод определения аминокислотного состава заключался в расщеплении белков на связанные аминокислоты путем кислотного гидролиза, последующем разделении смеси аминокислот на хроматографической колонке, взаимодействии элюата с нингидрином для образования окрашенных продуктов и их детектировании с помощью фотометрического детектора. Элементный анализ проводился на автоматическом аминокислотном анализаторе LA8080 (Hitachi, Япония) методом ВЭЖХ с постколоночной дериватизацией нингидрином. Для количественной оценки концентрации аминокислот перед ним выполнялся контрольный анализ стандартной смеси аминокислот с известной концентрацией (Pickering calibration standard, США).

кислот с известной концентрацией (Pickering calibration standard, США).

**Результаты и их обсуждение.** Разработка технологии сушки, позволяющая максимально сохранить качество, обеспечить высокую органолептическую и пищевую ценность, является ключевой задачей. Этого можно достичь, применяя бережливые технологии сушки, которые позволяют удалить влагу из продукта, не разрушая его полезные вещества. В качестве щадящих технологий получения снеков из папоротника выбраны: ИК- и сублимационная сушка. Для обоснования выбора вида сушки определили органолептические показатели, которые являются основополагающими при выборе продукта будущим потребителем. Результаты эксперимента представлены на рисунке 1.

Оценка органолептических показателей качества была проведена согласно ГОСТ 32065-2013 «Овощи сушеные» (внешний вид, текстура, цвет, запах и вкус). В таблице 1 представлена шкала балльной оценки с учетом коэффициентов весомости органолептических показателей высушенного папоротника.



Образец № 1 – ИК-сушка



Образец № 2 – сублимационная сушка

Рис. 1. Внешний вид высушенного подготовленного папоротника  
Appearance of a dried prepared fern

Согласно данным таблицы 1, наибольшие коэффициенты весомости установлены для критериев текстура (0,35) и вкус (0,35), так как они являются определяющими органолептическими показателями для продукции в категории «снеки, «чипсы». При высушивании растительного сырья текстура должна обладать хрустящими и воздушными характеристиками, вкус соответствовать папоротнику, быть гармоничным, приятным с умеренной соленостью, так как это играет определяющую роль в сенсорном анализе. Именно данные характеристики при разжевывании снеков позволяют потенциальному потребителю идентифицировать данный вид

растительного сырья. При оценке внешнего вида важно учитывать однородность, целостность формы, длину кусочков (стебля папоротника) не менее 5 см, без изломов. Цвет высушенного сырья должен сохранить свою природную окраску, иметь насыщенный темно-зеленый или оливковый цвет. Запах должен быть приятным, натуральным, с выраженными травянистыми нотами, без посторонних ароматов, например, затхлости.

В таблице 2 представлены средние оценки всех экспертов, принявших участие в сенсорном анализе в зависимости от возраста и статуса.

**Шкала балльной оценки органолептических показателей высушенного папоротника**  
**The scale for the evaluation of organoleptic parameters of dried fern**

Органолептические показатели / коэффициент весомости	Оценка, баллы			
	5,0–4,5 «отлично»	4,4–4,0 «хорошо»	3,9–2,0 «удовлетворительно»	Менее 1,9 «неудовлетворительно»
Внешний вид/0,1	Однородные, аккуратный внешний вид. Кусочки – стебель папоротника длиной не менее 5 см, без изломов, без видимых дефектов	Аккуратный, кусочки – стебель папоротника длиной не менее 5 см, допускаются небольшие изломы, не влияющие на качество	Имеются изломы, заметные дефекты, неравномерность	Сильные дефекты. Видимые остатки влаги или наоборот кусочки папоротника сильно пересушены
Текстура/0,35	Хрустящая, воздушная, не слишком сухая. Кусочки приятно разламываются	Достаточно хрустящая, менее воздушная. Возможно небольшая сухость или некоторая влажность	Излишне сухая, жестковатая. Неприятная текстура при разжевывании.	Жесткая, твердая. Неприятная текстура при разжевывании
Запах/0,1	Натуральный, с ярко выраженными травянистыми нотами. Отсутствуют посторонние запахи	Натуральный, но менее выраженный травянистый аромат	Слабовыраженный аромат, с посторонними нотами аромата. Например, затхлости	Неприятный, с явным посторонним запахом
Цвет/0,1	Равномерный, насыщенный темно-зеленый или оливковый, характерный для сушеного папоротника	Менее равномерный. Допускаются незначительные отклонения в оттенках (пятнистость или легкая блеклость)	Неравномерный, поблекший, с участками темных пятен	Темный или почти черный (пересушенный)
Вкус/0,35	Гармоничный, свойственный папоротнику, с приятной соленостью. Отсутствуют посторонние привкусы, сырости и затхлости	Приятный, но менее выраженный, в меру соленый. Отсутствуют посторонние привкусы, сырости и затхлости	Слабый, с посторонним вкусом. Излишняя соленость или пресность	Неприятный посторонний вкус

В результате органолептической оценки установлено, что папоротник после высушивания в ИК сушке получил неудовлетворительную оценку, как среди преподавателей (9,5 баллов), так и среди студентов (7,1 баллов). В дегустационных листах отмечено, что данный образец имеет отрицательные оценки по показателям внешний вид (от 1,3 до 1,8 баллов), текстура

(от 1,8 до 2,1 баллов), которая излишне сухая и жесткая, твердая, а вкус (от 1,0 до 1,6 баллов) не позволяет идентифицировать данный вид сырья. Запах имеет слабовыраженные травянистые ноты, но присутствует посторонний неприятный аромат (от 2,0 до 2,5 баллов). Цвет образца темный, не имеющий ничего общего с природным окрасом (от 1,0 до 1,5 баллов).

**Результаты органолептической оценки экспертов  
The results of the organoleptic assessment of experts**

Критерий	Преподаватели	Студенты
Образец 1 – папоротник после высушивания в ИК-сушке		
Внешний вид	1,8±0,1	1,3±0,0
Текстура	2,1±0,1	1,8±0,1
Запах	2,5±0,1	2,0±0,1
Цвет	1,5±0,1	1,0±0,0
Вкус	1,6±0,1	1,0±0,0
Итого	9,5±0,3	7,1±0,2
Образец 2 – папоротник после высушивания в сублимационном аппарате		
Внешний вид	4,4±0,1	4,5±0,1
Текстура	4,8±0,2	5,0±0,2
Запах	4,4±0,1	4,0±0,1
Цвет	4,4±0,1	3,8±0,1
Вкус	5,0±0,2	4,0±0,10
Итого	23,0±0,7	21,3±0,6

Папоротник после высушивания в сублимационном аппарате среди преподавателей получил общий средний балл – 23, что позволяет его отнести к оценке «отлично». Эксперты-студенты оценили данный образец на 21,3 балла, что соответствует оценки «хорошо». Вся фокус-группа отметила приятную воздушную текстуру, однородность, сохранение формы, длины стеблей папоротника, а также приятный натуральный травянистый аромат. Из недостатков отмечена легкая блеклость в цвете. Преподаватели оценили вкус на высокий балл – 5,0, отмечая, его как «интересный», представляющий гармоничный вкус папоротника с приятной соленостью. Студенты охарактеризовали вкус сублимационного папоротника как специфичный и умеренно соленый (4,0 балла), однако примерно 30 % из них указали, что в целом данный вид продукта не соответствует их вкусовым предпочтениям.

Применение сублимационной сушки для производства снеков из папоротника позволяет получить желаемые внешний вид и текстуру продукта, данные показатели являются определяющими при выборе «снеков», «чипсов». Сравнительный анализ физико-химических показателей, химического состава образцов ИК и сублимационной сушки не проводился в связи с нецелесообразностью.

Таким образом, при рекомендуемых параметрах от производителя аппарата LP10 удалось получить продукт, который по органолеп-

тическим показателям имеет наивысшую оценку, чем при ИК-сушке в аппарате ПСК-1000-2020. Тем не менее, для достижения более высокой товароведной оценки необходимо проектировать заданные характеристики продукта путем поиска оптимальных технологических параметров производства посредством проведения полного факторного эксперимента и получения математических моделей для основных исследуемых факторов процесса получения снеков из папоротника.

Для построения математической модели процесса с целью оптимизации технологии переработки папоротника, использовали регрессионный анализ – метод, который позволяет устанавливать значения факторов и диапазоны их варьирования по своему усмотрению, не нарушая хода технологического процесса, согласно техническим характеристикам применяемого оборудования, требованиям стандартов к готовой продукции и т. д. [12, 13].

В данной работе для построения математической модели процесса, проверки ее адекватности и для оценки влияния на процесс каждого учитываемого технологического фактора было изучено влияние продолжительности сушки, времени вымачивания, толщины слоя и размера частиц (длина стебля папоротника) на процентное содержание белка, влажности и органолептическую оценку готовой продукции. Входные и выходные параметры процесса представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Параметры многофакторного эксперимента  
Parameters of a multi factorial experiment**

Параметр	Обозначение
Входные параметры (управляемые факторы)	
Продолжительность сушки, ч	X <sub>1</sub>
Вымачивание, ч	X <sub>2</sub>
Толщина слоя, см	X <sub>3</sub>
Размер частиц (длина стебля папоротника), см	X <sub>4</sub>
Выходные параметры (контролируемые факторы)	
Влажность, %	Y <sub>1</sub>
Органолептическая оценка, балл	Y <sub>2</sub>
Содержание белка, %	Y <sub>3</sub>

Согласно реализуемому плану эксперимента, определились уровни и шаги варьирования входных параметров, которые представлены в таблице 4.

Значимость коэффициентов регрессии была проверена с помощью корреляционного анализа данных. Коэффициенты корреляции, оценивающие влияние входящих факторов процесса на отклики представлены в таблице 5.

Таблица 4

**Уровни и интервалы варьирования исследуемых факторов  
Levels and ranges of variation of the studied factors**

Фактор	Обозначение	Интервал варьирования фактора	Уровень варьирования фактора		
			-1	0	+1
Продолжительность сушки, ч	x <sub>1</sub>	13	13	26	39
Вымачивание, ч	x <sub>2</sub>	3	6	9	12
Толщина слоя, см	x <sub>3</sub>	0,5	0,5	1	1,5
Размер частиц (длина стебля папоротника), см	x <sub>4</sub>	2	1	3	5

Таблица 5

**Результаты корреляционного анализа (коэффициент корреляции)  
Correlation analysis results (correlation coefficient)**

Показатель	Влажность, %	Органолептическая оценка, балл	Содержание белка, %
Продолжительность сушки, ч	-0,99386	-0,50909	-0,885360
Вымачивание, ч	0,01382	-0,08735	-0,389558
Толщина слоя, см	0,10136	-0,09940	0
Размер частиц (длина стебля папоротника), см	0,03957	0,048198	-0,070828

Данные таблицы 5 демонстрируют, что продолжительность сушки оказывает наиболее значимое влияние на все три исследуемых показателя. Также видно, что связь между продолжительностью сушки и всеми исходящими факторами является обратно пропорциональной. Это значит, что при увеличении значения

одной величины происходит уменьшение значений другой величины.

На рисунке 2 показаны зависимости управляемых факторов на контролируемые факторы процесса.

Полученные зависимости (рис. 2), подтвердили известную закономерность: с увеличением

продолжительности сушки показатель влажности уменьшается. С технологической точки зрения важным является изучить влияние процесса сушки на органолептические показатели готового продукта. В результате установили, что с увеличением времени сушки органолептические показатели улучшаются и достигают максимальной оценки при сушке 26 ч, далее происходит снижение комплексной оценки за счет показателей текстура, внешний вид в результате пересушивания продукта. Определили, что с

увеличением времени сушки снижается показатель содержания белка в продукте, что объясняется денатурацией белковых веществ вследствие перегрева. Чтобы исключить нежелательные изменения, которые возникают при неблагоприятных условиях сушки, в первую очередь следует регулировать время сушки, опираясь на проведенные исследования.

Результаты регрессионного анализа представлены в таблице 6.

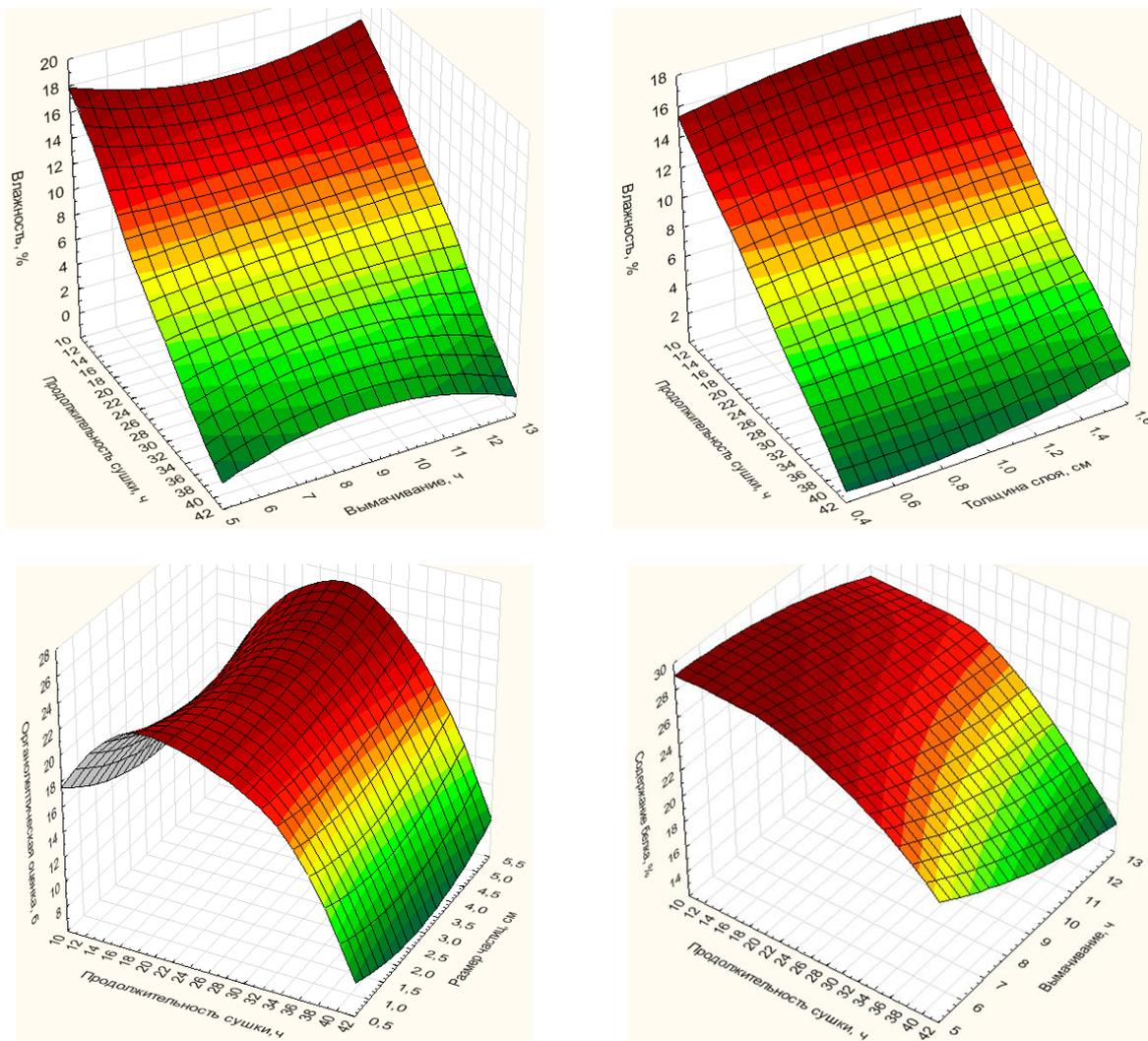


Рис. 2. Влияние управляемых факторов на контролируемые факторы процесса  
The influence of controlled factors on controlled process factors

Проанализировав графики, представленные на рисунке 2, можно сделать вывод, что целесообразнее использовать время сушки 26 ч.

Факторы, не оказывающие влияния на отклик, не учитывались при моделировании. Адекватность полученных математических моделей определена с помощью критерия Фишера [14].

Ниже приведены разработанные математические модели для основных показателей снежков из папоротника.

Уравнения регрессии для определения исследуемых факторов имеют следующий вид:

1. Показатель влажности готового продукта:

$$Y_1 = 19,279 - 0,47X_1 + 0,028X_2 + 1,24X_3 + 0,122X_4.$$

2. Органолептические свойства:

$$Y_2 = 2,578 - 0,047X_1^2 + 2,1X_1 - 6,46X_3 + 0,15X_1X_3 + 0,73X_3^2.$$

3. Содержание белка:

$$Y_3 = 30,222 + 0,359X_1 - 0,0108X_1^2 - 0,611X_2 + 0,0185X_2^2 - 0,0128X_1X_2.$$

Таблица 6

### Регрессионная статистика Regression statistics

Параметр	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
Множественный R	0,999895858	0,994972875	0,997069284
R-квадрат	0,999791727	0,989971022	0,994147157
Нормированный R-квадрат	0,999583453	0,973256058	0,984392419
Стандартная ошибка	0,108691715	0,783569704	0,509175077

Математические модели процесса имеют коэффициент детерминации 0,994–0,999, что говорит о функциональной зависимости между переменными.

Коэффициент значимости при моделировании (критерий Фишера)  $F$ , равный 0,00000013,  $< 0,05$ , что говорит об адекватности полученных регрессионных моделей.

Представленные регрессионные модели процесса сушки папоротника могут быть использованы для решения задач оптимизации, которые требуют проведения большого количества вычислений [12].

Для определения оптимальных параметров управляемых факторов воспользовались универсальным математическим процессором MathCAD. MathCAD позволяет решить поставленную задачу численным методом.

Для оптимизации условий функционирования объекта использовались регрессионные модели, полученные в результате реализации многофакторных экспериментальных исследований, представленные и описанные выше. Регрессионные модели дают информацию о влиянии варьируемых факторов на выходные величины. Имеется в виду отыскание таких значений варьируемых факторов в интервалах их варьирования, для которых значение выходной величины оказывается максимальным или минимальным [14].

В качестве параметров оптимизации процесса были выбраны следующие характеристики: влажность ( $Y_1$ ), органолептическая оценка ( $Y_2$ ), содержание белка в готовом продукте ( $Y_3$ ).

Для решения задачи по определению оптимальных параметров процесса должны выполняться следующие условия:  $Y_1 \rightarrow \min$ ;  $Y_2 \rightarrow \max$ ;  $Y_3 \rightarrow \max$ .

Для численного решения задачи поиска локального максимума и минимума в Mathcad имеются встроенные функции Minimize и Maximize. Эти функции реализуют процедуру поиска экстремума функций многих переменных как при наличии, так и при отсутствии ограничений на комбинации последних. В нашем случае нужно найти максимальное или минимальное значение функции на некотором интервале, поэтому накладываем следующие ограничения области поиска в пространстве факторов:

$$\begin{cases} 39 \text{ ч} \geq X_1 \geq 13 \text{ ч}; \\ 12 \text{ ч} \geq X_2 \geq 6 \text{ ч}; \\ 1,5 \text{ см} \geq X_3 \geq 0,5 \text{ см}; \\ X_4 = 5 \text{ см}. \end{cases}$$

В результате решения поставленной задачи были определены оптимальные значения варьируемых переменных для процесса производства снеков из папоротника:

- продолжительность сушки  $X_1 = 26$  ч;
- вымачивание  $X_2 = 6$  ч;
- толщина слоя  $X_3 = 0,5$  см;
- размер частиц  $X_4 = 5$  см.

Подставив найденные значения входных факторов в уравнения регрессии получили соответствующие значения исследуемых параметров:

- влажность продукта  $Y_1 = 8,5$  %;
- органолептическая оценка  $Y_2 = 24,3$  балла;
- содержание белка  $Y_3 = 27,3$  %.

Процесс изготовления снеков, проведенный при оптимальных условиях, показал следующие результаты:

- влажность продукта  $Y_1 = 8,4 \%$ ;
- органолептическая оценка  $Y_2 = 24,8$  балла;
- содержание белка  $Y_3 = 27 \%$ .

Таким образом, теоретические значения данных показателей, рассчитанные по уравнениям регрессии, хорошо согласуются с экспериментальными, что еще раз подтверждает адекватность полученных математических моделей процесса.

В результате сушки получается новый продукт – снеки, который представляет собой хрупкие, хрустящие, воздушные высушенные стебли папоротника длиной не менее 5 см, темно-зеленого или оливкового цвета, с гармоничным, свойственным папоротнику вкусом, с приятной соленостью, с влажностью 8,4 %.

Пищевую ценность снеков определяет содержание белка – 25 г в 100 продукта. Результаты исследования качественного и количественного аминокислотного состава снеков из сублимированного папоротника представлены в таблице 7.

Таблица 7

**Качественный и количественный состав аминокислот в снеках из папоротника**  
**Qualitative and quantitative composition of amino acids of fern snacks**

Аминокислота	Содержание аминокислот, г/100 г
Валин	1,57±0,05
Изолейцин	1,14±0,03
Лейцин	2,20±0,07
Треонин	1,32±0,04
Лизин	1,74±0,05
Метионин	0,11±0,01
Фенилаланин+ тирозин	2,09±0,06
Аспарагин	2,36±0,07
Серин	1,34±0,04
Глутамин	3,18±0,10
Глицин	1,31±0,04
Аланин	1,48±0,04
Гистидин	0,58±0,02
Аргинин	1,52±0,05
Пролин	1,07±0,03
Сумма заменимых аминокислот	12,84±0,39
Сумма незаменимых аминокислот	10,17±0,31
Общая сумма аминокислот	23,01±0,69

Анализ данных, представленных в таблице 7, свидетельствует об идентичном качественном составе аминокислот как в свежем папоротнике, так и в продукте его переработки – снеках. Установлено, что сублимационная сушка позволяет сохранить весь аминокислотный профиль. При этом доля незаменимых аминокислот для снеков достигает 44 % – 10,17 г/100 г. Среди заменимых аминокислот в снеках, так же, как и в свежем сырье, доминирует глутамин (3,18 г/100 г), среди незаменимых аминокислот – фенилаланин + тирозин (2,09 г/ 100 г).

Выполняющий структурную функцию в клетках гутамин входит в состав всех белков. Он участвует в обезвреживании аммиака посредст-

вом его превращения в нетоксичные соединения, а также играет важную роль в синтезе ДНК, РНК и нейромедиаторов, обеспечивающих передачу нервных импульсов. Кроме того, глутамин способствует поддержанию энергетического обмена в условиях физической нагрузки. Фенилаланин синтезирует адреналин и тирозин, способствует повышению когнитивных функций, улучшает память и оказывает положительное влияние на функциональное состояние печени и поджелудочной железы. Тирозин, в свою очередь, необходим для синтеза тироксина (гормона щитовидной железы), регулирует деятельность гипофиза и надпочечников, способствует

снижению уровня стресса, усталости и раздражительности.

Для оценки биологической ценности белка снеков из сублимированного папоротника про-

веден сравнительный анализ содержания незаменимых аминокислот с идеальным белком ФАО/ВОЗ, результаты которого представлены в таблице 8.

Таблица 8

**Биологическая ценность белка в снеках из папоротника**  
**The biological value of protein in fern snacks**

Аминокислоты	Идеальный белок ФАО/ВОЗ		Снеки	
	г/100г белка	Скор, %	г/100г белка	Скор, %
Валин	4,0	100	6,28	157
Изолейцин	3,0	100	4,56	152
Лейцин	6,1	100	8,8	144
Лизин	4,8	100	6,96	145
Метионин + цистин	2,3	100	0,44	19
Фенилаланин + тирозин	4,1	100	8,36	203
Треонин	2,5	100	5,28	211
Триптофан	0,66	100	–	–
КРАС (коэффициент различия аминокислотного сора), %			70	
БЦ (биологическая ценность), %			30	
U (коэффициент утилитарности АК состава), дол. ед.			77	
ИНАК (Индекс незаменимой кислоты)			0,19	

Данные таблицы 8 свидетельствуют, что белок снеков из сублимированного папоротника обладает определенной биологической ценностью, коэффициент различия аминокислотного сора (70 %) и сравнительно низкая биологическая ценность (30 %) указывают на определенный дисбаланс аминокислотного состава. Однако входящие 7 незаменимых аминокислоты в продукт свидетельствует о потенциальной пищевой ценности данного белка. Коэффициент утилитарности аминокислотного состава (77 дол. ед.) дают основание заключить о способности организма эффективно усваивать значительную часть содержащихся аминокислот.

Индекс незаменимой кислоты (0,19) указывает на наличие лимитирующего фактора, которым является метионин+цистин. Таким образом, данный белок может способствовать поддержанию белкового баланса, особенно при употреблении в качестве здорового перекуса. С целью повышения биологической ценности возможно сочетать его с другими белковыми источниками, что позволит обогатить аминокислотный состав продукта.

Снеки из папоротника содержат жира 2,76 г в 100 г продукта. Качественный и количественный состав жирных кислот снеков из папоротника приведен в таблице 9.

Таблица 9

**Качественный и количественный жирнокислотный состав снеков**  
**Qualitative and quantitative fatty acid composition of snacks**

Жирная кислота (ЖК)	Содержание, % от суммы ЖК
1	2
14:0 (миристиновая)	0,5±0,0
16:0 (пальмитиновая)	35,7±1,1
16:1n-9 (гексадеценовая)	0,2±0,0
16:1n-7 (пальмитолеиновая)	0,2±0,0
16:1t (транс-гексадеценовая)	0,2±0,0

1	2
16:3n-3 (гексадекатриеновая)	1,1±0,0
18:0 (стеариновая)	2,7±0,1
18:1n-9 (олеиновая)	6,1±0,2
18:1n-7 (вакценовая)	0,7±0,0
18:2n-6 (линолевая)	21,0±0,6
18:3n-6 (гамма-линоленовая)	2,0±0,1
18:3n-3 (α-линоленовая)	8,0±0,2
20:0 (арахиновая)	2,0±0,1
20:3n-6 (эйкозатриеновая)	2,0±0,1
20:4n-6 (арахидоновая)	9,8±0,3
20:5n-3 (эйкозапентаеновая)	0,6±0,0
22:0 (бегеновая)	2,3±0,1
24:0 (лигноцериновая)	3,4±0,1
26:0 (гексакозановая)	0,8±0,0

В процессе переработки папоротника удалось сохранить практически полный профиль жирных кислот, исключение составила только эйкозодиеновая кислота (C20:2n-6), содержание которой в свежем папоротнике было незначительным – всего 0,2 % от общей суммы жирных кислот, а в снеках она не обнаружена, вероятно, вследствие низкого исходного содержания. Основными жирными кислотами как в свежем сырье, так в сублимированном продукте являются ненасыщенная линолевая и насыщенная пальмитиновая кислота (C16:0), которая преобладает среди всех жирных кислот, на ее долю приходится 35,7 % в снеках. Линолевая кислота (C18:2n-6) представлена в количестве 21 %. Меньшую долю (6 %) занимают полиненасыщенные арахидоновая (0,27 г) и α-линоленовая (0,22 г) жирные кислоты, а также мононенасыщенная олеиновая кислота (0,17 г). Остальные жирные кислоты находятся в незначительном количестве, что не оказывает существенного влияния на общий липидный состав продукта.

Присутствие жира и жирных кислот играет важную роль в организме. Наиболее преобла-

дающая пальмитиновая кислота является основным источником энергии, хотя ее избыток может повысить уровень холестерина, тем самым увеличить риск развития сердечно-сосудистых заболеваний. Линолевая кислота не синтезируется организмом и поступает только с продуктами, выполняя важные функции в организме. Арахидоновая кислота важна для иммунной системы, α-линоленовая важна для работы мозга, а олеиновая кислота улучшает липидный профиль крови, снижая уровень «плохого» холестерина.

Полученный продукт из сублимированного папоротника не является значимым источником жира и жирных кислот. Однако употребление снеков из папоротника в качестве здорового перекуса может временно восполнить потребность организма в жирах, способствуя преодолению «голодного окна» между основными приемами пищи.

Качественный и количественный состав углеводов и других соединений снеков из сублимированного папоротника представлен в таблице 10.

Таблица 10

**Содержание углеводов и других соединений в снеках**  
**The content of carbohydrates and other snack compounds**

Компонент	Содержание, г/100 г
Целлюлоза	20,23±0,61
Гемицеллюлоза	2,36±0,07
Пектин	5,39±0,16
Крахмал	4,28±0,13
Лигнин	12,03±0,36

Изученные компоненты, за исключением крахмала, относятся к группе пищевых волокон, в состав которых входят целлюлоза, гемицеллюлоза, пектин, а также не являющийся углеводом лигнин (полимер ароматических спиртов).

Содержание целлюлозы составляет 20,23 г на 100 г в снеках, гемицеллюлозы – в 10 раз меньше. Пектин, относящейся к водорастворимой фракции пищевых волокон, составляет 25 % от количества целлюлозы. Содержание безуглеводного компонента лигнина составляет 12,03 и 11,55 г на 100 г соответственно.

Пищевые волокна не подвергаются разрушению кислотами, щелочами и ферментами в желудочно-кишечном тракте человека, однако расщепляются частично в толстом кишечнике под влиянием микрофлоры кишечника [15]. Гемицеллюлоза, в отличие от целлюлозы, частично растворима в воде и обладает способностью удерживать воду и связывать ионы металлов, включая катионы тяжелых металлов. Гемицеллюлоза и целлюлоза способствуют очищению организма от токсинов. Пектины в организме человека связывают токсичные элементы, ра-

дионуклиды, образуя нерастворимые комплексы, которые выводятся из организма. Лигнин придает прочность растительной клеточной стенке и играет важную роль в снижении всасывания холестерина за счет связывания солей желчных кислот.

Количество крахмала в снеках достигает 4,28 г/100г, он нормализует микробиоту кишечника и снижает уровень холестерина в сыворотке крови.

Полученные результаты указывают на высокое содержание пищевых волокон – 40,01 г на 100 г снеков. Сочетание углеводных и неуглеводных компонентов обеспечивает выраженные сорбционные и регуляторные свойства, нормализацию функции желудочно-кишечного тракта, снижение уровня холестерина и выведение токсичных соединений.

Среднесуточная степень удовлетворения в основных пищевых веществах, с учетом рекомендуемого уровня согласно ТР ТС 022/2011, содержащихся в 100 г снеков из папоротника, представлена в таблице 11.

Таблица 11

**Степень удовлетворения в основных пищевых веществах  
от содержащихся в 100 г снеков из сублимированного папоротника  
The degree of satisfaction in essential nutrients  
from the freeze dried fern snacks contained in 100 g**

Пищевое вещество	Рекомендуемый уровень суточного потребления ТР ТС 022/2011	Содержание	Степень удовлетворения от рекомендуемого суточного уровня потребления, %
Белки, г	75	25,0	33
Жиры, г	83	2,8	3
Углеводы, г	365	46,4	13
Пищевые волокна, г	30	40,01	133
Пектин, г	2*	5,39	270
Энергетическая ценность, кДж/ккал	10467/2500	1302/311	12
Кальций, мг	1000	129,6	13
Фосфор, мг	800	325,0	41
Железо, мг	14	8,6	61
Магний, мг	400	41,2	10
Цинк, мг	15	4,7	31
Калий, мг	3500	92,5	3
Витамин А, мкг	800	159,61	20
Витамин С, мг	60	21,24	35
Витамин РР, мг	20*	4,33	22

\* Методические рекомендации МР 2.3.1.1915-04.

Результаты исследования химического состава снеков и расчет степени удовлетворения суточной потребности в основных веществах, представленные в таблице 11, показывают, что в 100 г продукта содержится 25 г белка, это обеспечивает 33 % степени удовлетворения, которая указывает на значительный белковый потенциал данного продукта, особенно для людей с ограниченным потреблением животного белка в рационе. Низкое содержание жира в снеках (2,8 г) удовлетворяет 3 % от суточной нормы. Содержание пищевых волокон – до 40 г на 100 г снеков, что обеспечивает 133 % их суточной потребности, а пектиновых веществ – 270 %. Снеки характеризуются значительным количеством макро-, микроэлементов, что позволяет считать их потенциально полезными для организма в качестве источника минеральных веществ в рационе человека. Степень удовлетворения суточной потребности составляет: в отношении кальция – 13 %; цинка – 31; фосфора – 41; железа – 61 % при употреблении 100 г снеков из папоротника. В снеках сохраняются витамины С, А, РР на 69, 83 и 79 % соответственно по сравнению со свежим папоротником. Содержание идентифицированных водорастворимых витаминов С, РР и жирорастворимого витамина А удовлетворяет суточную потребность от 20 до 35 %, позволяет рассматривать их как потенциальный источник указанных нутриентов.

**Заключение.** Обоснование выбора между инфракрасной и сублимационной сушкой образцов, подготовленных из соленого папоротника, для получения снеков основывалось на оп-

ределении органолептических показателей высушенных образцов фокус-группой, высокие значения комплексной оценки от 21 до 23 баллов демонстрируют превосходство сублимационной сушки и неудовлетворительную оценку образца ИК-сушки (от 7,0 до 9,5 баллов).

Определены оптимальные технологические параметры получения снеков из папоротника: вымачивание соленого папоротника – 6 ч; продолжительность сублимационной сушки – 26 ч; толщина слоя – 0,5 см; размер частиц (длина стеблей) – 5 см, – при которых достигаются значения заданных показателей качества: влажность продукта  $Y_1 = 8,4$  %, органолептическая оценка  $Y_2 = 24,8$  балла, содержание белка –  $Y_3 = 27$  %.

Результаты изучения химического состава снеков позволяют отнести их к группе функциональных продуктов, согласно требованиям ГОСТ Р 52349-2005 «Продукты пищевые функциональные. Термины и определения», так как результаты определения степени удовлетворения суточной потребности в некоторых пищевых веществах составляют более 15 %: белки – 33 %; пищевые волокна – 133; пектин – 270; цинк – 31; фосфор – 41; железо – 61; витамин А – 20; витамин РР – 22; витамин С – 35 %.

Таким образом, проведенное исследование позволяет заключить, что метод сублимационной сушки открывает новые возможности для переработки соленого папоротника и создания нового продукта – снеков, который может пополнить ассортиментный ряд полезных перекусов за счет входящих эссенциальных нутриентов и пищевых волокон.

#### Список источников

1. Kreshchenok I., Lesik (Aistova) E., Tushkin A., et al. Edible Ferns of the Amur Region and Their Rational Use. In: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937, N 2. Article number 022138. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022138.
2. Yang X., Yue J., Su C., et al. Nutrient composition analysis of five kinds of wild edible ferns in Yunnan [J] // Hubei agricultural sciences. 2020. Vol. 59, N 14. P. 153–155.
3. Iyer A., Bestwick C.S., Duncan S.H., et al. Invasive Plants Area Valuable Alternate Protein Source and Can Contribute to Meeting Climate Change Targets // Front. Sustain. Food Syst. 2021. Vol. 5. P. 575056. DOI: 10.3389/fsufs.2021.575056.
4. Wang Y., Gao S., He X., et al. Response of total phenols, flavonoids, minerals, and amino acids of four edible fern species to four shading treatments // PeerJ. 2020. Vol. 8. P. e8354 DOI: 10.7717/peerj.8354.
5. Li K., Zhang T., Ren H., et al. Structural and physicochemical properties of bracken fern (*Pteridium aquilinum*) starch // Front. Nutr. 2023. Vol. 10. P. 1201357. DOI: 10.3389/fnut.2023.1201357.

6. Черемных Д.А., Губаненко Г.А., Речкина Е.А., и др. Биологическая ценность белка папоротника (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 417–425. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-2-2374.
7. Черемных Д.А., Губаненко Г.А., Речкина Е.А., и др. Состояние и перспективы развития производства продукции из папоротника // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5 (194). С. 217–224. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-217-224.
8. Черемных Д.А. Возможность использования соленого папоротника орляка. В сб.: VIII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии», Кемерово, 25–27 мая 2020. Т. 1. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2020. С. 70–72.
9. Тепляшин В.Н., Ченцова Л.И., Невзоров В.Н. Технологии и оборудование для сушки растительного сырья: учебное пособие. Красноярск, 2019. 173 с.
10. Трубилин Е.И., Виневский Е.И. Энергоемкость сушки растительного сырья: проблемы и пути решения // Технический оппонент. 2019. № 1. С. 48–53.
11. Agafonova S.V., Rykov A.I., Mezenova O.Ya. Biological value of lupine proteins and their prospects in the food industry // Journal of International Academy of Refrigeration. 2019. N 2. P. 79–85. DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-2-79-85.
12. Marchenko R.A., Yarovoy S.V., Shurkina V.I. Information system for calculating paper-forming indicators of fibrous semi-finished products based on regression models. In: Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, Russia, 24 сентября – 3 октября 2021. Vol. 2094. Krasnoyarsk, Russia: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 32–59. DOI: 10.1088/1742-6596/2094/3/032059. EDN: TIASIZ.
13. Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Лукин Н.И. Математические методы в пищевой инженерии: учебное пособие. СПб.: Лань, 2022. 176 с.
14. Шувалов С.И. Оптимизация технологических процессов: учебное пособие. Иваново: ИГЭУ, 2021. 76 с.
15. Черемных Д.А., Губаненко Г.А., Зайцева Н.С., и др. Применение папоротника Орляк для новых видов пищевой продукции. В сб.: II Международная научная конференция «Актуальные вопросы переработки и формирование качества продукции АПК»; Красноярск, 15 декабря 2022. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. С. 111–114.

## References

1. Kreshchenok I, Lesik (Aistova) E, Toushkin A, et al. Edible Ferns of the Amur Region and Their Rational Use. In: *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 937, N 2. Article number 022138. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022138.
2. Yang X, Yue J, Su C, et al. Nutrient composition analysis of five kinds of wild edible ferns in Yunnan [J]. *Hubei agricultural sciences*. 2020;59(14):153-155.
3. Iyer A, Bestwick CS, Duncan SH, et al. Invasive Plants Area Valuable Alternate Protein Source and Can Contribute to Meeting Climate Change Targets. *Front. Sustain. Food Syst.* 2021;5:575056. DOI: 10.3389/fsufs.2021.575056.
4. Wang Y, Gao S, He X, et al. Response of total phenols, flavonoids, minerals, and amino acids of four edible fern species to four shading treatments. *PeerJ*. 2020;8:e8354. DOI: 10.7717/peerj.8354.
5. Li K, Zhang T, Ren H, et al. Structural and physicochemical properties of bracken fern (*Pteridium aquilinum*) starch. *Front. Nutr.* 2023;10:1201357. DOI: 10.3389/fnut.2023.1201357
6. Cheremnykh DA., Gubanenko GA, Rechkina EA, et al. Biological Value of Fern Protein (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn). *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(2):417-425. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-2-2374.
7. Cheremnykh DA., Gubanenko GA, Rechkina EA, et al. The state and prospects of fern production development. *Bulletin of KSAU*. 2023;(5):217-224. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-217-224.
8. Cheremnykh DA. The possibility of using salted bracken fern. In: VIII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya studentov, aspirantov i molodyh uchenyh «Pi-shchevye innovacii i biotekhnologii»; Кемерово, 25–27 May 2020. Vol. 1. Кемерово: Кемерово State University; 2020. P. 70–72.

9. Teplyashin VN, Chentsova LI, Nevzorov VN. *Technologies and equipment for drying vegetable raw materials*. Krasnoyarsk, 2019. 173 p.
10. Trubilin EI, Vinevsky EI. Energy Consumption of Drying Vegetable Raw Materials: Problems and Solutions. *Technical Opponent*. 2019;1(2):48-53.
11. Agafonova SV, Rykov AI, Mezenova OYa. Biological value of lupine proteins and their prospects in the food industry. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2019;(2):79-85. (In Russ.). DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-2-79-85.
12. Marchenko RA, Yarovoy SV, Shurkina VI. Information system for calculating paper-forming indicators of fibrous semi-finished products based on regression models. In: Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. *Journal of Physics: Conference Series*, Krasnoyarsk, Russia, 24 Sep – 03 Oct 2021. Vol. 2094. Krasnoyarsk, Russia: IOP Publishing Ltd; 2021. P. 32059. DOI: 10.1088/1742-6596/2094/3/032059. EDN: TIASIZ.
13. Alekseev GV, Voronenko BA, Lukin NI. *Mathematical Methods in Food Engineering: A Textbook*. Saint-Petersburg: Lan'; 2022. 176 p.
14. Shuvalov SI. *Optimization of Technological Processes: Textbook*. Ivanovo: ISEU, 2021. 76 p.
15. Cheremnykh DA, Gubanenko GA, Zaitseva NS, et al. Application of the bracken fern for new types of food products. In.: II Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya «Aktual'nye voprosy pererabotki i formirovanie kachestva produktsii APK»; Krasnoyarsk, 2022 Dec 15. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University; 2023. P. 111–114.

Статья принята к публикации 04.09.2025 / The article accepted for publication 04.09.2025.

Информация об авторах:

**Дарья Андреевна Черемных**<sup>1</sup>, ассистент кафедры технологии и организации общественного питания

**Галина Александровна Губаненко**<sup>2</sup>, заведующая кафедрой технологии и организации общественного питания, доктор технических наук, доцент

**Валентина Ивановна Яровая**<sup>3</sup>, доцент кафедры «Машины и аппараты промышленных технологий», кандидат технических наук

**Екатерина Александрова Речкина**<sup>4</sup>, доцент кафедры технологии консервирования и пищевой биотехнологии, кандидат технических наук

**Ольга Владимировна Киселева**<sup>5</sup>, доцент кафедры химической технологии древесины и биотехнологии, кандидат технических наук, доцент

Information about the authors:

**Daria Andreevna Cheremnykh**<sup>1</sup>, Assistant Professor at the Department of Technology and Organization of Public Catering

**Galina Aleksandrovna Gubanenko**<sup>2</sup>, Head of the Department of Technology and Organization of Public Catering, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

**Valentina Ivanovna Yarovaya**<sup>3</sup>, Associate Professor at the Department of Machines and Apparatus for Industrial Technologies, Candidate of Technical Sciences

**Ekaterina Aleksandrova Rechkina**<sup>4</sup>, Associate Professor at the Department of Canning Technology and Food Biotechnology, Candidate of Technical Sciences

**Olga Vladimirovna Kiseleva**<sup>5</sup>, Associate Professor at the Department of Chemical Technology of Wood and Biotechnology, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

