

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ АРКТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГАОУ ВО «МАУ»)

Международная научно-практическая конференция 24/25

Тематика:

Химия и новые материалы

Научная статья

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУФАБРИКАТА ВЫСОКОЙ
СТЕПЕНИ ГОТОВНОСТИ ПРИ ЛИОФИЛИЗАЦИИ

Выполнил: аспирант

Скрипова О. Е.

1 курс

4.3.3. «Пищевые системы»

Научный руководитель: канд.техн.наук,
доцент Бражная И.Э.

Введение

В Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов до 2030 года приоритетными задачами продовольственной безопасности определены: повышение конкурентоспособности российской продукции, импортозамещение продукции и оборудования, внедрение технологий глубокой переработки сырья.[13]

Для создания запасов продукции длительного хранения были произведены испытания в ходе которых было обнаружено, что при сравнительном анализе качество полуфабриката подвергнутого различным видам физической обработки наилучшие показатели дала сублимационная сушка.

Целью работы является сравнение физико-химических показателей сублимированной продукции в отличие от других методов сушки.

Для достижения этой цели определены следующие задачи:

1. Изучение сублимационной сушки как способа консервации пищевых продуктов.
2. Выявление особенностей применения лиофилизации в настоящий период времени.
3. Исследование физико-химических показателей сушёной продукции.

1 Сублимация возникновение и развитие

Согласно Большой российской энциклопедии, процесс сублимационной сушки был изобретён во Франции Жаком Арсёном д'Арсонвалем и его ассистентом Фредериком Бордасом в лаборатории биофизики Коллеж де Франс [2].

В 1911 году Дауни Харрис и Шекл, работавшие в лаборатории физиологии Сент-Луисского университета, разработали метод сублимационной сушки для сохранения вируса бешенства (The Journal of Infectious Diseases, Volume 8, Issue 1, 3 January 1911, P. 47–49). Эта работа впоследствии способствовала созданию первой вакцины против бешенства.

В 1920-х годах русский горный инженер Г. И. Лаппа-Старженецкий изобрёл печь для вакуумной сушки предварительно замороженных продуктов, ставшую прототипом современного оборудования для лиофилизации.

Современная технология сублимационной сушки была разработана во время Второй мировой войны. Особую актуальность тогда приобрела задача транспортировки сыворотки крови из США в Европу для помощи раненым. Из-за отсутствия надлежащих условий хранения большая часть сыворотки портилась до использования. Лيوфилизация позволила стабилизировать её состав без необходимости постоянного охлаждения.

Широкое применение сублимированные продукты получили во второй половине XX века — их использовали для питания полярников, моряков, геологов, туристов, а позднее и космонавтов.

В СССР развитие сублимационной сушки активно велось с середины XX века, особенно в пищевой промышленности, где особое внимание уделялось высокобелковой продукции. Были разработаны сублимационные аппараты, а также изучены свойства продуктов после лиофилизации.

В России с начала 2000-х годов разработки продолжились на частных производствах. Эта отрасль постепенно развивается: если в 2020 году на рынке было четыре крупных производителя, то к 2025 году их число выросло до нескольких десятков.

Сублимированные продукты получили массовое распространение и применяются в производстве мюсли, чая, шоколада, кондитерских добавок, быстрорастворимых каш и снеков. Кроме того, лиофилизация используется для сохранения мяса, рыбы, молочных продуктов, овощей и готовых блюд. В фармацевтической промышленности вакуумная сублимационная сушка применяется при производстве вакцин, сывороток, антибиотиков и консервированных препаратов крови (например, сухой плазмы и кровезаменителей).

Развитие сублимационной сушки в России и мире привело к активному росту рынка сублимированных продуктов. По данным исследований, в 2021 году его глобальный объём оценивался в 37,2 млрд долларов, а к 2030 году ожидается увеличение до 71,7 млрд долларов (среднегодовой рост — 7,7%) [18]. Основными драйверами рынка стали: расширение пищевой промышленности, спрос на готовые к употреблению продукты, использование в ресторанах быстрого питания, кафе и отелях.

Структура рынка представлена продуктами:

- Овощи (30% в 2021 г.) — картофель, морковь, кукуруза, горох.
- Фрукты — самый быстрорастущий сегмент (клубника, манго, яблоки, ананасы) благодаря применению в кондитерских изделиях.
- Ягоды — 52% российского рынка (2021 г., 949,3 тонн), но значительная часть импортируется (Китай, Сербия) [18].

2 Особенности технологии

Сублимационная сушка как технология обработки пищевых продуктов обладает рядом существенных преимуществ: значительное снижение массы продукции, облегчающее транспортировку; возможность длительного хранения без специальных условий; сохранение питательных свойств продукта.

Скорость процесса сублимации определяется рядом факторов: термической устойчивостью продукта; сопротивлением массопереносу; площадью поверхности обрабатываемого материала [17].

Эффективность работы сублимационной установки зависит от: интенсивности теплопередачи к фронту сублимации; скорости массообменных процессов.

Образующийся в процессе сушки пористый слой характеризуется крайне низкой теплопроводностью, что создаёт значительное термическое сопротивление. При этом по мере увеличения толщины высушенного слоя сопротивление теплопередаче возрастает. Процесс испарения льда в условиях глубокого вакуума можно рассматривать как эффузионное движение молекул водяного пара со свободной поверхности, описываемое уравнением Кнудсена-Ленгмюра [1].

3 Методология исследования

В качестве объекта исследования были выбраны кнели из минтая, что обусловлено: высокой биологической ценностью (содержание белка 15,5-16,8%), низкой калорийностью (66-72 ккал), технологической устойчивостью к обработке, доступностью сырьевой базы (рост вылова на 4-6% в 2025 г.)

Экспериментальные образцы подвергались:

Конвекционной сушке при +50°C (дегидратор «Rommelsbacher») и сублимационной сушке при -52°C и 5 Па (установка «FreeZone», 10 часов)

Критерии оценки:

Сохранность белковой структуры (метод АЛО);

Изменение реологических свойств («усилие реза» на приборе IMADA);

Технологические особенности методов:

Конвекционная сушка: температурный диапазон: +35...+120°C при атмосферном давлении, равномерное распределение воздушных потоков

Сублимационная сушка: криотемпературный режим (до -35°C), вакуумная среда (10-100 Па), трёхфазный процесс с возгонкой льда

Объекты исследования, упакованный в герметичную тару, хранили при температуре плюс 20 °C ± 2 °C в течении шести месяцев.

4 Исследования и результаты

Для сравнительного анализа этих двух видов сушки на способность сохранения пищевой ценности и органолептических характеристик пищевой продукции были проведены физико-химические исследования. Для определения сохранности были проведены исследования на азот летучие основания (АЛО) по стандартной методике [3].

По определению восстанавливающей способности для характеристики текстуры продукта был определён реологический показатель «усилие реза», так как при хранении она имеет значительные изменения при всех видах физических способов консервации. Определение данного показателя проводили на приборе IMADA согласно инструкции в паспорте на данное оборудование с учётом методики, разработанной для прибора «Food Checker» [4].

Результаты определения АЛО в образцах представлены на рисунке 1.

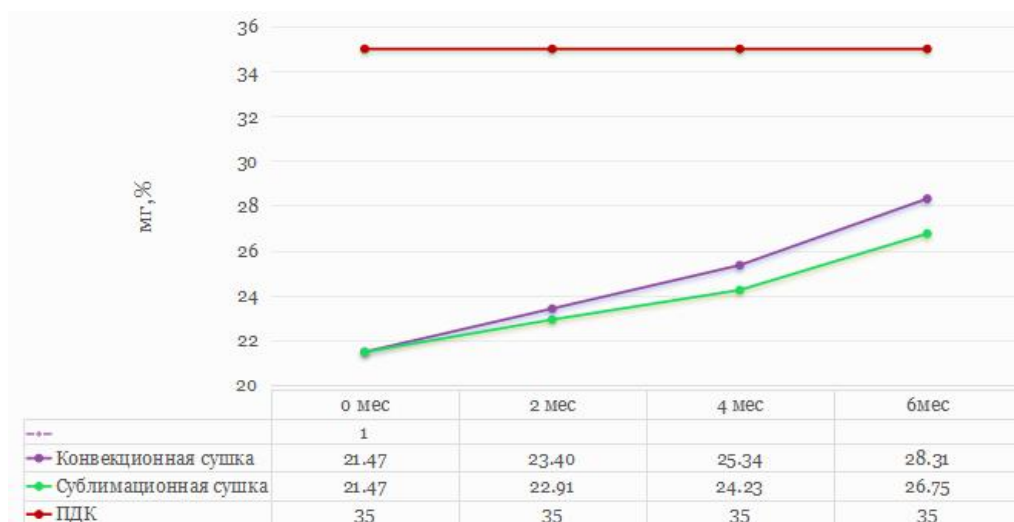


Рис. 1. Изменения содержания АЛО в зависимости от типа консервации в процессе хранения.

Результаты исследования показали, что все опытные образцы, обработанные различными методами консервации, после шестимесячного хранения сохранили показатели азотистых летучих оснований (АЛО) в пределах норм, установленных Техническим регламентом Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» [14]. Наблюдаемый незначительный рост уровня АЛО объясняется инактивацией ферментных систем и замедлением биохимических процессов в продукте. Наименьшее накопление азотистых соединений отмечено в образцах после

сублимационной сушки, что связано с максимальным удалением влаги в процессе обработки.

При подготовке к определению реологического показателя «усилие резания» образцы предварительно восстанавливали в дистиллированной воде при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ в соответствии с методическими рекомендациями [9], что обеспечивало их готовность к употреблению и достоверность получаемых результатов.

Результаты исследования показателя «усилие реза» представлены на рисунке 2.

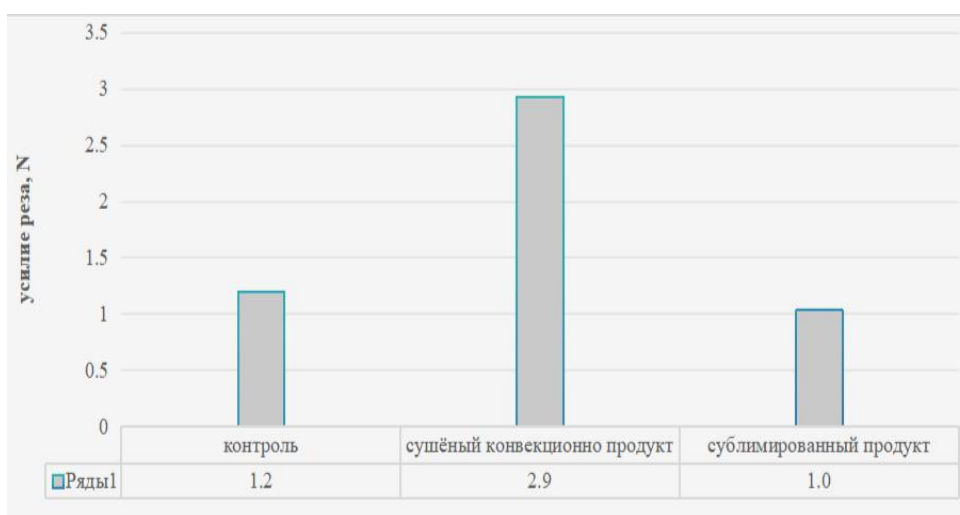


Рис. 2. Изменения показателя усилия реза

Образцы, подвергшиеся конвекционной сушке, после регидратации в стандартных условиях восстановили массу лишь на 57% от исходной. Это связано с необратимыми повреждениями тканевой структуры и частичной денатурацией белков, что привело к увеличению усилия резания в три раза по сравнению с контрольным образцом. Наиболее близкие результаты показателя «усилие реза» к контрольному были установлены у образца, восстановленного после сублимации с расхождением данных по силе в 0,2 N.

Для оценки пищевой ценности восстановленного продукта был проведён комплексный анализ его химического состава [11], результаты которого представлены в таблицах 5 и 6. Эти данные позволяют судить о степени сохранения питательных веществ и их доступности для усвоения организмом человека.

Таблица 5.

Химический состав 100г сублимированной продукции «Кнели сублимированные из минтая»

Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Вода, г	Минеральные вещества, г	Энергетическая ценность, кДж/ккал
58,29	0,17	20,44	10,35	7,35	1324,82/316,43

Таблица 6.

Химический состав 100г восстановленной после сублимационной сушки продукции «Кнели сублимированные из минтая»

Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Вода, г	Минеральные вещества, г	Энергетическая ценность, кДж/ккал
10,44	0,03	3,66	83,6	1,32	237,39/56,70

Анализ данных, представленных в таблицах, подтверждает, что полуфабрикат из минтая относится к категории низкокалорийных белковых продуктов.

Выводы

1. Продукт, подвергшийся сублимационной сушке, при длительном хранении сохраняет свои органолептические и реологические свойства лучше, чем образцы, подвергшиеся другим методам сушки.

2. Несмотря на более высокую стоимость, сублимационная сушка обладает рядом преимуществ, обеспечивающих её востребованность в различных областях, включая производство пищевой продукции для: вахтового и туристического снабжения, пополнения аварийного запаса питания и для других сфер человеческой деятельности.

Список использованной литературы

1. Арипов, М. М. Экспериментальные исследования сублимационной сушки [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-sublimatsionnoy-sushki>, свободный. - Загл. с экрана. - Описание основано на версии, датир.: декабрь 20, 2023.
2. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс] : в 35 т. / гл. ред. Ю. С. Осипов. — М. : Большая российская энциклопедия, 2004–2023. — URL: <https://bigenc.ru> (дата обращения: 17.06.2025).
3. ГОСТ 7636–85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа». Введ. 01.01.1986. – М.: Изд-во стандартов. – 1986. – 101 с.
4. Куранова, Л.К. Использование прибора «Food Checker» для исследования структурно– механических свойств пищевых продуктов. Методические рекомендации/ Л.К. Куранова // Наука и образование – 2011 [Электронный ресурс]: междунар. науч.– техн. конф., (4 – 8 апреля 2011г). / МГТУ. Электрон. текст дан. (43 Мб) Мурманск: МГТУ. – 2011. – НТЦ «Информрегистр». – № гос. регистрации 0321100504. – С. 908 – 911.
5. Методы исследования свойств сырья и продуктов питания [Текст] : Учебно-методическое пособие для обучающихся по направлениям «Продукты питания животного происхождения», «Технология производства и организация общественного питания», «Товароведение», «Биотехнология» / Федер. агентство по рыболовству, ФГБУ ВПО МГТУ, Каф. техн. продукции и орг. общ. пит.; сост.: В.И. Волченко, О.А. Николаенко, Ю.В. Шокина . – Мурманск : ФГБУ ВПО МГТУ, 2015 , - 104 с.
6. Некоммерческая организация «Ассоциация добытчиков минтая»: [Электронный ресурс]. – URL: <https://pollock.ru/news/glava-adm-predstavil-na-dvnps-itogi-oxotomorskoj-mintaevoj-ekspedicii-2025/>, свободный.
7. Отчет о развитии рынка сублимированных полуфабрикатов в РФ за 2020-2025 гг. / Минсельхоз России. - М., 2025. - 48 с. - Данные об импорте и структуре потребления.
8. Патент № 2810600 Российская Федерация, МПК A23L17/00 A23B4/00 Способ получения сублимированных кнелей из минтая: 2023122520: заявлено 29.08.2023.: опубликовано 27.12.2023/ Бражная И.Э., Скрипова О.Е.; заявитель Федеральное Государственное Автономное Образовательное Учреждение Высшего Образования Арктический Университет. – 10с.
9. Практикум по дисциплине «Основы технологии потребления холода в пищевой промышленности» [Текст] : Учебно-методическое пособие для обучающихся по

направлениям «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения», «Холодильная техника и технология» / Министерство науки и высшего образования РФ, ФГАУ ВО МГТУ, Каф. техн. продукции и орг. общ. пит.; сост.: С. Ю. Дубровин, А. Ю. Глухарев, С. И. Барабашина, М. П. Новожилов. – Мурманск : ФГАУ ВО МГТУ, 2023, - 86 с.

10. Российский рынок сублимированных продуктов 2021 [Электронный ресурс] // РБК.Исследования. - 2022. - URL: <https://marketing.rbc.ru> (дата обращения: 17.06.2025). - Содержит данные об объёме рынка в России (949,3 тонн).

11. Скурихин, Н.М. Химический состав пищевых продуктов: [Текст]/ Н.М.Скурихин. Ч. 1, 2 – М: Агропромиздат, 1988 – 179 с.

12. Скурихин, Н.М. Химический состав пищевых продуктов: [Текст]/ Н.М.Скурихин. Ч. 1, 2 – М: Агропромиздат, 1988 – 179 с.

13. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года [Текст] : распоряжение Правительства РФ от 8 сентября 2022 г. № 2567-р // Собр. Законодательства РФ. - 2022. - № 38 (19 сентября). - (ст. 6481).

14. ТР ЕАЭС 040/2016 Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции». Введ. 16.10.2016. – М.: Изд– во стандартов. – 2016. – 71 с.

15. Феллоуз, П. Сублимационная сушка и концентрация замораживания/ П. Феллоуз [Электронный ресурс]// Технология обработки пищевых продуктов: принципы и практика/ Elsevier Science. - Woodhead, 2017. - 4-е изд. - С. 929-940.

16. Химический состав пищевых продуктов [Текст]// под ред. А.А. Покровского. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 228 с.

17. Freeze Drying Equipment Market Size, Share & Trend Analysis Report By Product Type, By Application Type, By Region, And Segment Forecasts, 2019 – 2025 [Электронный ресурс] // Grand View Research. – Режим доступа: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/freeze-drying-equipment-market>, свободный, свободный. - Загл. с экрана. - Описание основано на версии, датир.: декабрь 20, 2023.

18. Global Freeze-Dried Food Market Size, Share & Trends Analysis Report [Электронный ресурс] // Grand View Research. - 2022. - URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/freeze-dried-food-market> (дата обращения: 17.06.2025). - Описание рынка сублимированных продуктов на 2021-2030 гг.

19. Harris, D., Shackell, L. F. The Effect of Desiccation on the Antirabic Potency of Tissues / D. Harris, L. F. Shackell // The Journal of Infectious Diseases. — 1911. — Vol. 8, № 1. — P. 47–49. — DOI: [указать DOI, если доступен].
20. Modern Freeze-Drying Technology / ed. by J. Smith, K. Brown. — 2nd ed. — Berlin : Springer, 2020. — 415 p. — ISBN 978-3-030-56185-1.