



# ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921 (Print)  
ISSN 3034-3941 (Online)

ФГБОУ ВО  
АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. И. И. ПОЛЗУНОВА

№  
4

2024

# Ползуновский ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921 (Print)  
ISSN 3034-3941 (Online)

Регистрационный номер ПИ № ФС 77-75624  
выдан Федеральной службой по надзору в сфере  
связи, информационных технологий и массовых  
коммуникаций 19.04.2019 г.

Префикс DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921  
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С ОКТЯБРЯ 2002 г.

Периодичность – 4 номера в год

№ 4 2024 г.

Научный журнал  
входит в перечень ВАК (К1), RSCI (ядро РИНЦ)

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Гурьев Алексей Михайлович  
д.т.н., проф. АлтГТУ (г. Барнаул)

## ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Маюрникова Лариса Александровна  
д.т.н., проф., зав. каф. «Технология и организация  
общественного питания» КемГУ (г. Кемерово)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сакович Г. В., академик РАН (г. Бийск)  
Мэй Шунчи, проф., декан УТУ (г. Ухань, Китай)  
Лыгденов Б. Д., д.т.н., проф. УТУ(г. Ухань, Китай)  
Солтан О. И. А., к.т.н., лектор каф. «Наука о продуктах питания», Сельскохозяйственный факультет,  
Миния университет (г. Эль-Миния, Египет)  
Дебердеев Т. Р., д.т.н., зав. каф. «Технологии переработки полимеров и композиционных  
материалов» КНИТУ(г. Казань)  
Ильясов С. Г., д.х.н., заместитель директора по научной работе ИПХЭТ СО РАН (г. Бийск)  
Блазнов А. Н., д.т.н., заведующий лабораторией материаловедения и минерального сырья  
ИПХЭТ СО РАН, (г. Бийск)  
Петров Е. А., д.т.н., проф., декан инженерного спецфакультета БТИ (г. Бийск)  
Деев В. Б., д.т.н., проф., профессор кафедры «Обработка металлов давлением» НИТУ МИСиС (г. Москва)  
Батаев В. А., д.т.н., проф. НГТУ (г. Новосибирск)  
Коновалов С. В., д.т.н., проф., проректор по научной и инновационной деятельности  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк)  
Щетинин М. П., д.т.н., проф., вице-президент НОЧУ ДПО «Международная промышленная академия», (г. Москва)  
Тамова М. Ю., д.т.н., проф., зав. каф. «Общественного питания и сервиса» КубГТУ (г. Краснодар)  
Попов В. Г., д.т.н., доц., зав. каф. «Товароведение и технологии продуктов питания» ТИУ (г. Тюмень)  
Егорова Е. Ю., д.т.н., доц., зав. каф. «Технология хранения и переработки зерна» АлтГТУ (г. Барнаул)  
Майоров А. А., д.т.н., проф., главный научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦА (г. Барнаул)  
Новоселов С. В., д.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)  
Коньшин В. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Химическая технология» АлтГТУ (г. Барнаул)  
Романов А. С., д.т.н., проф., зам. директора ООО «Балтийский пекарский дом» (г. Калининград)  
Алтухов И. В., д.т.н., доц. ИргАУ (г. Иркутск)  
Мусина О. Н., д.т.н., доц., АлтГТУ (г. Барнаул)  
Гуринович Г. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Технология продуктов питания животного происхождения»  
КемГУ (г. Кемерово)  
Ананьева Е. С., к.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)

## ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ВЫПУСК

Стопорева Татьяна Александровна,  
к.т.н., начальник ОРПД АлтГТУ (г. Барнаул)

## ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Проскура Николай Анатольевич,  
редактор АлтГТУ (г. Барнаул)

## УЧРЕДИТЕЛИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И. И. ПОЛЗУНОВА»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ  
ВОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНДЕКС: 73664 (Урал-Пресс)

## АДРЕС РЕДАКЦИИ И ИЗДАТЕЛЯ

656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова (АлтГТУ), тел. (3852) 29-09-46, e-mail: polz\_journal@mail.ru, Стопорева Т. А.  
Сайт журнала: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest>  
Дата выхода в свет 24.12.2024 г.  
Цена 800 рублей.



# Polzunovskiy VESTNIK

ISSN 2072-8921 (Print)  
ISSN 3034-3941 (Online)

DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921  
EST. IN 2002.

Publication frequency: quarterly

---

**№ 4 2024**

**SCIENTIFIC JOURNAL**

---

## EDITOR-IN-CHIEF

**Aleksey Guriev**

Doctor of Technical Sciences, professor at  
ASTU, Barnaul, Russia

## DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

**Larisa Mayurnikova**

Doctor of Technical Sciences, professor at  
KemSU, Kemerovo, Russia

## EDITORIAL BOARD

**Gennady Sakovich**, RAS academician, Biysk, Russia  
**Mei Shunqi**, professor, WTU, Wuhan, China  
**Burial Lygdenov**, Doctor of Technical Sciences, WTU, Wuhan, China  
**Soltan Osama Ismaeil Ahmed**, Candidate of Technical Sciences, Lecturer, Minia University, El-Minia, Egypt  
**Timur Deberdev**, Doctor of Technical Sciences, KNRTU, Kazan, Russia  
**Sergey Iliysov**, Doctor of Chemical Sciences, IPCET SB RAS, Biysk, Russia  
**Aleksey Blaznov**, Doctor of Technical Sciences, IPCET SB RAS, Biysk, Russia  
**Evgeny Petrov**, Doctor of Technical Sciences, BTI, Biysk, Russia  
**Vladislav Deev**, Doctor of Technical Sciences, NUST MISIS, Moscow, Russia  
**Vladimir Bataev**, Doctor of Technical Sciences, NSTU, Novosibirsk, Russia  
**Sergei Konovalov**, Doctor of Technical Sciences, Siberian state Industrial University, Novokuznetsk, Russia  
**Mikhail Shchetinin**, Doctor of Technical Sciences, Vice-President of the NEI APT "IIA", Moscow, Russia  
**Maya Tamova**, Doctor of Technical Sciences, KubSTU, Krasnodar, Russia  
**Vladimir Popov**, Doctor of Technical Sciences, TIU, Tyumen, Russia  
**Elena Egorova**, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia  
**Aleksandr Mayorov**, Doctor of Technical Sciences, FASCA, Barnaul, Russia  
**Sergei Novoselov**, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia  
**Vadim Konshin**, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia  
**Aleksandr Romanov**, Doctor of Technical Sciences, professor, LLC "Baltisky Bakery House",  
Kaliningrad, Russia  
**Igor Altukhov**, Doctor of Technical Sciences, Associate professor, IrSAU, Irkutsk, Russia  
**Olga Musina**, Doctor of Technical Sciences, Associate professor, ASTU, Barnaul, Russia  
**Galina Gurinovich**, Doctor of Technical Sciences, professor, KemSU, Kemerovo, Russia  
**Elena Ananieva**, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, ASTU, Barnaul, Russia

## ISSUE MANAGER

**Tatiana Stoporeva**

Candidate of Technical Sciences, ASTU,  
Barnaul, Russia

## TECHNICAL EDITOR

**Nikolay Proskura**

Editor, ASTU, Barnaul, Russia

---

## FOUNDERS

POLZUNOV ALTAI STATE TECHNICAL UNIVERSITY (ASTU)

INSTITUTE FOR WATER AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE SIBERIAN BRANCH OF THE  
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES (IWEP SB RAS)

## PUBLISHER

Polzunov Altai State Technical University, phone.(3852) 29-09-46, e-mail: polz\_journal@mail.ru

**ADDRESS:** Prospect Lenina 46, office 119 GK, Barnaul, 656038, Altai region, Russia

**WEBSITE:** <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest>

Signed for printing 24.12.2024



# СОДЕРЖАНИЕ

## РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

<i>А. Л. Новокшанова</i> Разработки в области специализированного питания с использованием молочного сырья .....	7
<i>А. В. Ландиховская, А. А. Творогова, С. Е. Кочнева</i> Использование микропартикулята сывороточных белков в мороженом с низким содержанием СОМО .....	12
<i>А. А. Яковлева, В. И. Ущাপовский, И. Э. Миневич</i> Взаимодействие белка гороха с полисахаридами семян льна в эмульсиях «масло в воде».....	21
<i>Е. С. Троско, Ю. С. Гунина</i> Некоторые особенности хранения сортов яблони алтайской селекции .....	29
<i>Л. А. Маюрникова, А. А. Дриль</i> Обеспечение продовольственной безопасности как фактор устойчивого развития.....	35
<i>К. А. Фадеев, Л. Г. Ермош, О. Я. Кольман</i> Исследование химического состава выжимок топинамбура с целью их использования в пищевых продуктах .....	44
<i>А. Л. Новокшанова, О. В. Оксененко, К. Б. Сухарев, Е. М. Щетинина</i> Начало производства специализированного кисломолочного продукта для диетической коррекции нарушений углеводного и липидного обменов .....	49
<i>Е. Н. Артемова, К. В. Власова</i> Структурообразующие свойства сапонинсодержащих пищевых систем .....	53
<i>А. Д. Лебедев, С. В. Колобов</i> Обзор последних достижений в изучении биохимического состава мяса верблюда.....	61
<i>А. Ю. Шариков, М. В. Амелякина, В. В. Иванов, М. В. Туршатов, А. О. Соловьев, И. М. Абрамова</i> Влияние влагосодержания на качественные показатели экструдатов в технологии переработки смеси рисовой крупы с продуктами биоконверсии топинамбура .....	66
<i>М. А. Вайтанис, З. Р. Ходырева</i> Мясные рубленые изделия функционального назначения .....	73
<i>Е. Ю. Егорова, А. Е. Грязнов</i> Разработка рецептуры горькой настойки.....	79
<i>Г. А. Донская, Т. С. Бычкова, Е. А. Юрова</i> Исследование радиопротекторного потенциала муки из масличных культур .....	86
<i>В. В. Тригуб, В. Г. Попов, М. В. Николенко, С. А. Белина, В. В. Аксентьева</i> Разработка рецептуры паштета мясорастительного функционального назначения из арктического сырья.....	93
<i>Л. В. Анисимова, Е. С. Серебrenикова, Е. О. Гергерт, Д. Ю. Гузий</i> Стойкость при хранении муки из сорго, полученной разными способами .....	99
<i>С. С. Кузьмина, Я. Г. Стецов, С. Н. Цыганок</i> Применение ультразвука в технологии ахлоридного хлеба .....	106
<i>А. В. Гришкова, Ю. Г. Стурова, А. Н. Белов, А. Д. Коваль</i> Температурный оптимум коммерческих молокосвертывающих ферментов .....	111
<i>К. Н. Ницневская, С. В. Станкевич, Е. В. Бородай</i> Исследование квасов неосветленных из репы с рябиной обыкновенной и черноплодной .....	116
<i>В. А. Марьин, А. Л. Верещагин</i> Исследование температурного режима хранения зерна гречихи в рукавах.....	126
<i>Р. Е. Моисеев, Н. Ю. Шарова, А. П. Непомнящий, В. Э. Путилов, О. В. Астафьева</i> Влияние химического состава питательных сред на биосинтез ксантановой камеди бактериями вида <i>Xanthomonas campestris</i> .....	132
<i>Д. В. Чащилов</i> Гидротермическая обработка зерна гречихи. Формирование технологических, потребительских и нутрицевтических свойств ядра. Возможности использования лузги.....	139



---

## РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

---

<i>У. Л. Мишигдоржийн, П. А. Гуляшинов, С. А. Лысых, Н. С. Улаханов, П. В. Москвин, М. С. Воробьев</i> <b>Борирование стали 3Х2В8Ф диффузионным и электронно-пучковым легированием.....</b> 149	<i>К. К. Босов, И. А. Крупнова, Е. В. Пивоварова, Г. Т. Суханов, А. Г. Суханова, Ю. В. Филиппова</i> <b>Функционализированные производные 2-МЕТИЛ-5-НИТРО-1,2,4-ТРИАЗОЛ-3-ОНА.....</b> 186
<i>В. К. Дробышев, И. А. Панченко, С. В. Коновалов, Д. Н. Лабунский</i> <b>Исследование механических свойств сплава АА7075, полученного аддитивным способом.....</b> 156	<i>Е. П. ХарнUTOва, Л. В. Затонская, В. П. Смагин</i> <b>Синтез сульфидов элементов триады железа в n-алканах.....</b> 196
<i>Р. В. Барсуков, Р. Н. Голых, А. Р. Барсуков, А. Н. Сливин</i> <b>Стенд для исследования кавитационных явлений в полимерах и их расплавах при воздействии на них ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности....</b> 161	<i>Е. Н. Еремин, К. Г. Кукушина</i> <b>Исследование влияния размера частиц наполнителя на свойства композиционного материала на основе эпоксидно-диановой смолы.....</b> 202
<i>И. М. Угарова, Л. А. Иванова, Е. Н. Неверов</i> <b>Применение сорбционной доочистки воды в период гидрологической чрезвычайной ситуации.....</b> 167	<i>Н. Ю. Демиденко, М. Е. Арканова, Г. З. Ягудина, О. Н. Еременко, В. В. Тарнопольская</i> <b>Биополимеры – перспективный субстрат для биоконверсии сырья растительного происхождения.....</b> 208
<i>Ю. В. Передерин, Е. Г. Анзельм, И. О. Усольцева</i> <b>Переработка торфа: современное состояние технологий.....</b> 173	<i>А. А. Дьяконов, А. П. Васильев, А. А. Охлопкова, Н. Н. Лазарева, А. М. Спиридонов, А. К. Кычкин, А. Г. Туисов, П. В. Винокуров</i> <b>Исследование свойств эластомеров в зависимости от содержания бутадиенового и нитрильного каучуков в резиновой смеси.....</b> 213
<i>Ю. А. Тунакова, В. С. Валиев, Г. Н. Габдрахманова</i> <b>Оптимизация способа активации цеолита для использования в качестве материала при очистке промышленных сточных вод от катионов металлов.....</b> 181	<i>А. К. Кычкин, А. А. Кычкин, А. А. Васильева</i> <b>Исследования влияния различных типов наполнителей на свойства полимерной матрицы.....</b> 222
	<i>А. А. Васильева, А. Г. Туисов</i> <b>Обзор физико-механических свойств связующих на основе винилэфирных смол.....</b> 228
<b>АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....</b> 236	

---

## SECTION 1. FOOD TECHNOLOGY

---

- A. L. Novokshanova*  
**Developments in field of specialized nutrition using dairy raw materials** ..... 7
- A. V. Landikhovskaya, A. A. Tvorogova, S. E. Kochneva*  
**Use of microparticulate of whey proteins in ice cream with a low content of milk solids nonfat**..... 12
- A. A. Yakovleva, V. I. Ushchapovskii, I. E. Minovich*  
**Pea protein and flaxseed polysaccharides interaction in "oil in water" emulsions** ..... 21
- E. S. Trosko, Yu. S. Gunina*  
**Some features of the storage of apple fruits for Altai breeding varieties** ..... 29
- L. A. Mayurnikova, A.A. Dril*  
**Ensuring food security as a factor of sustainable development**..... 35
- K. A. Fadeev, L. G. Ermosh, O. Ya. Kolman*  
**Study of elemental composition of pomace from an earthen pear for purpose of their use in food products** ..... 44
- A. L. Novokshanova, O. V. Oksenenko, K. B. Sukharev, E. M. Shchetinina*  
**Start of production of a specialized fermented milk product for dietary correction of carbohydrate and lipid metabolism disorders** ..... 49
- E. N. Artemova, K. V. Vlasova*  
**Structure-forming properties of saponin-containing food systems** ..... 53
- A. D. Lebedev, S. V. Kolobov*  
**Review of latest achievements in study of biochemical composition of camel meat** ..... 61
- A. Yu. Sharikov, M. V. Amelyakina, V. V. Ivanov, M. V. Turshatov, A. O. Solovyov, I. M. Abramova*  
**Influence of moisture content on quality indicators of rice extrudates with jerusalem artichoke by products obtained in ethanol technology**..... 66
- M. A. Vaytanis, Z. R. Khodyreva*  
**Minced meat products for functional purposes**..... 73
- E. Yu. Egorova, A. E. Gryaznov*  
**Development of a bitter tincture formulation** ..... 79
- G. A. Donskaya, T. S. Bychkova, E. A. Yurova*  
**Investigation of the radioprotective potential of oilseed flour** ..... 86
- V. V. Trigub, V. G. Popov, M. V. Nikolenko, S. A. Belina, V. V. Aksentjeva*  
**Development of a recipe for meat and vegetable pate functional purpose from arctic raw materials** ..... 93
- L. V. Anisimova, E. S. Serebrenikova, E. O. Gergert, D. Yu. Guziy*  
**Storage stability of sorghum flour produced by different methods**..... 99
- S. S. Kuzmina, Ya. G. Stetsov, S. N. Tsyganok*  
**Use of ultrasound in achloride bread technology**..... 106
- A. V. Grishkova, Yu. G. Sturova, A. N. Belov, A. D. Koval,*  
**Temperature optimum of commercial milk-converting enzymes**..... 111
- K. N. Nitsievskaya, S. V. Stankevich, E. V. Boroday*  
**Examination of unfiltered kvasses made from turnip with red and black-fruited rowan** ..... 116
- V. A. Maryin, A. L. Vereshchagin*  
**Investigation of temperature regime of buckwheat grain storage in sleeves**..... 126
- R. E. Moiseev, N. Yu. Sharova, A. P. Nepomnyashchy, V. E. Putilov, O. V. Astafyeva*  
**Chemical composition of growth medium for xanthan gum production by *Xanthomonas campestris* bacteria** ..... 132
- D. V. Chashchilov*  
**Hydrothermal treatment of buckwheat grain. Formation of technological, consumer and nutraceutical properties of core. Possibility of using husks** ..... 139

---

## SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGIES, MATERIALS SCIENCES, METALLURGY

---

<i>U. L. Mishigdorzhiiyn, P. A. Gulyashinov, S. A. Ly-sykh, N. S. Ulakhanov, P. V. Moskvina, M. S. Voro-b'yev</i> <b>Boriding of 3KH2V8F steel by diffusion and electron beam alloying</b> ..... 149	<i>K. K. Bosov, I. A. Krupnova, E. V. Pivovarova, G. T. Sukhanov, A. G. Sukhanova, Yu. V. Filip-pova</i> <b>Functionalized derivatives of 2-METHYL-5-NITRO-1,2,4-TRIAZOL-3-ONE</b> ..... 186
<i>V. K. Drobyshev, I. A. Panchenko, S.V. Konovalov D. N. Labunsky</i> <b>Study of mechanical properties of aa7075 alloy produced by additive method</b> ..... 156	<i>E. P. Kharnutova, L. V. Zatonskaya, V. P. Smagin</i> <b>Synthesis of sulfides of iron triad ele-ments in n-alkanes</b> ..... 196
<i>R. V. Barsukov, R. N. Golykh, A. R. Barsukov, A. N. Slivin</i> <b>Stand for studying cavitation phenomena in polymers and their melts under the influ-ence of high intensity ultrasonic oscilla-tions</b> ..... 161	<i>E. N. Eremin, K. G. Kukushina</i> <b>Study of influence of filler particle size on the properties of composite material based on epoxy-diane resin</b> ..... 202
<i>I. M. Ugarova, L. A. Ivanova, E. N. Neverov</i> <b>Use of sorption water purification during a hydrological emergency</b> ..... 167	<i>N. Yu. Demidenko, M. E. Arkanova, G. Z. Ya-gudina, O. N. Eremin, V. V. Tarnopolskaya</i> <b>Biopolymers are a promising substrate for bioconversion of raw materials of plant origin</b> ..... 208
<i>Yu. V. Perederin, E. G. Anzelm, I. O. Usoltseva</i> <b>A peat processing: current state of tech-nologies</b> ..... 173	<i>A. A. Dyakonov, A. P. Vasilev, A. A. Okhlopko-va, N. N. Lazareva, A. M. Spiridonov, A. K. Kychkin, A. G. Tuisov, P. V. Vinokurov</i> <b>Study of elastomer properties depending on content of butadiene and nitrile rubbers in rubber mixture</b> ..... 213
<i>Yu. A. Tunakova, V. S. Valiev, G. N. Gabdrakh-manova</i> <b>Optimization of method of activation of zeolite for use as a material in treatment of in-dustrial wastewater from metal cations</b> ..... 181	<i>Kychkin, A.K., Kychkin, A.A. &amp; Vasilieva A.A.</i> <b>Studies of influence of different types of fillers on properties of polymer matrix</b> ..... 222
	<i>A. A. Vasileva, A. G. Tuisov</i> <b>Review of physico-mechanical proper-ties of binders based on vinyl ester resins</b> ..... 228
<b>AUTHOR'S INDEX</b> ..... 236	



## РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 637.041

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.001



### РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПИТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

**Алла Львовна Новокшанова**

Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия  
novokshanova@ion.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5049-1472>

**Аннотация.** Производство специализированной пищевой продукции в России не обеспечивает все потребности населения и составляет лишь 0,2 % от традиционной пищевой продукции, в то время как в мировом производстве на долю специализированной пищевой продукции приходится 5 % от общего объема вырабатываемых пищевых продуктов. Разработки в области специализированного питания с использованием молочного сырья нацелены на ликвидацию зависимости от импортных продуктов и предназначены для оптимизации питания населения. Наибольшее значение при этом имеют инновационные продукты для детского питания, для повышения иммунной защиты людей, для профилактики социально-значимых заболеваний населения, а также продукты, предназначенные для целевых аудиторий, например, для спортсменов. В производстве специализированной пищевой продукции наибольшим спросом пользуются сухие ингредиенты из молочного сырья: пахта, обезжиренное молоко, сыворотка и сухие концентраты молочных белков. Введение в рецептуру этих ингредиентов может значительно улучшить пищевую ценность готового продукта, особенно по содержанию белка и изменению соотношения между белками, жирами и углеводами. Также молочные белки могут выполнять функцию носителей пищевых ингредиентов, предотвращая их разрушение. Большие перспективы для производства специализированной продукции представляет и цельное молоко и/или цельное вторичное молочное сырье, такое как пахта, обезжиренное молоко и сыворотка.

**Ключевые слова:** специализированное питание, молочное сырье, пахта, обезжиренное молоко, сыворотка, концентраты молочных белков.

**Для цитирования:** Новокшанова А.Л. Разработки в области специализированного питания с использованием молочного сырья // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 7–11. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.001, EDN: <https://elibrary.ru/nvzmpz>.

Original article

### DEVELOPMENTS IN FIELD OF SPECIALIZED NUTRITION USING RAW DAIRY

**Alla L. Novokshanova**

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety», Moscow, Russia, novokshanova@ion.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5049-1472>

**Abstract.** The production of specialized food products in Russia does not meet all the needs of the population and accounts for only 0.2% of traditional food products, while in global production spe-

© Новокшанова А. Л., 2024



cialized food products account for 5% of the total volume of food products produced. Developments in the field of specialized nutrition using dairy raw materials are aimed at eliminating dependence on imported products and are intended to optimize the nutrition of the population. Of greatest importance are innovative products for baby food, for increasing people's immune protection, for the prevention of socially significant diseases of the population, as well as products intended for target audiences, for example, for athletes. In the production of specialized food products, the greatest demand is for dry ingredients from dairy raw materials: buttermilk, skim milk, whey and dry milk protein concentrates. The introduction of these ingredients into the recipe can significantly improve the nutritional value of the finished product, especially in terms of protein content and changing the ratio between proteins, fats and carbohydrates. Milk proteins can also act as carriers of food ingredients, preventing their destruction. Whole milk and/or whole secondary dairy raw materials such as buttermilk, skim milk and whey also hold great promise for the production of specialized products.

**Keywords:** specialized nutrition, raw milk, buttermilk, skim milk, whey, milk protein concentrates, functional food ingredient.

**For citation:** Novokshanova, A.L. (2024). Developments in field of specialized nutrition using dairy raw materials. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 7-11. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.001. EDN: <https://elibrary.ru/nvzmpz>.

## ВВЕДЕНИЕ

Специализированное питание как область диетологии появилось в России еще в первой половине XX века. На практике это направление нутрициологии реализовалось в форме лечебных и профилактических диет в стационарах и сфере санаторно-курортного лечения.

В наши дни на фоне растущей распространенности алиментарно-зависимых заболеваний среди населения активизируются научные исследования в области диетологии, гастроэнтерологии и гигиены питания. Результаты этих исследований стимулируют необходимость расширения ассортимента специализированных продуктов как средства нормализации структуры питания и для населения в целом, и для отдельных категорий граждан. Помимо медико-биологических факторов, способствующих расширению рынка специализированных продуктов, свой вклад в это направление пищевых технологий вносят демографические перемены в обществе, наблюдаемые во всем мире. К ним относят рост населения, увеличение численности населения 65+, отличия пищевых потребностей в разных поколениях и пр. [1]. Немаловажное значение для развития производства специализированной пищевой продукции имеют социально-экономические причины, увеличивающие медицинские расходы на лечение алиментарно-зависимых заболеваний, тенденция урбанизации, растущее население среднего класса.

Учитывая эти факторы, в Российской Федерации было инициировано создание нормативной базы, регулирующей производство пищевых продуктов специализированного назначения.

Для пищевой промышленности и молочной в частности – это, прежде всего, Технический регламент Таможенного союза «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания» [2]. К объектам технического регулирования данного Технического регламента относятся две группы продуктов:

- специализированная пищевая продукция для питания спортсменов (высокобелковые, белково-углеводные, высокоуглеводные и др.), беременных и кормящих женщин;
- пищевая продукция диетического лечебного (диабетического, энтерального, парэнтерального и др.) и диетического профилактического питания, в том числе для детского питания (для недоношенных и/или маловесных детей, низколактозная (безлактозная) продукция, без (или с низким содержанием) отдельных аминокислот и т.д.).

## МЕТОДЫ

В исследовании использован монографический подход – изучение предпосылок, нормативной базы, регулирующей производство специализированной пищевой продукции, и особенности сырьевого состава такой продукции. Предмет анализа – примеры современных разработок специализированной пищевой продукции с использованием молочного сырья.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Движущей силой, развивающей рынок специализированной пищевой продукции, является спрос на эту продукцию среди

## РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПИТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

населения. Мировое производство специализированных продуктов питания в 2022 г. достигло 173,7 млрд долларов США, а к 2026 г. ожидается увеличение этого рынка в денежном эквиваленте до 218,3 млрд долларов США. Основные производители специализированной пищевой продукции в мире – это США, Япония, Китай и страны Европейского региона [3]. Производство аналогичных продуктов в России не обеспечивает все потребности населения и составляет лишь 0,2 % от традиционной пищевой продукции, в то время, как в мировом производстве на долю специализированной пищевой продукции приходится 5 % от общего объема вырабатываемых пищевых продуктов [3]. С целью устранения рисков и угроз продовольственной нестабильности и, согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, для достижения пороговых значений показателей продовольственной независимости от импорта требуется преодоление неконкурентоспособности отечественных производителей в части специализированной пищевой продукции [4, 5].

Ключевое отличие специализированной пищевой продукции от любой другой, например от обогащенной, в том, что специализированные продукты питания предназначены для определенных групп потребителей, а изготовитель заявляет о лечебных и/или профилактических свойствах пищевой продукции для отдельных категорий людей [6, 7]. Такие особенности специализированной пищевой продукции обусловлены тем, что в их составе есть добавленные ингредиенты, повышающие или изменяющие пищевую ценность, относительно традиционных продуктов.

Одними из самых востребованных ингредиентов для производства специализированной пищевой продукции стали продукты переработки молока. В настоящее время в практике производства специализированной продукции наибольшее распространение получили технологии использования сухого молочного сырья, имеющего высокую пищевую плотность. Некоторые такие примеры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав сухих ингредиентов из молочного сырья

Table 1 – Composition of dry ingredients from dairy raw materials

Вид сухого молочного сырья	Массовая доля, %			
	Белок	Жир	Лактоза	Сухие вещества
Пахта сухая	30,0	6,5	49,0	85,5
Сухое обезжиренное молоко	34,0	1,5	51,0	86,5
Сухая сыворотка	8,0–10,0	2,0	61,0–70,0	71,0–82,0
Копреципитаты	75,0–85,0	2,0–2,5	2,0–5,0	79,0–92,5
Концентраты сывороточных белков	35,0–80,0	3,0–7,0	20,0–35,0	78,0–96,0
Казеинат натрия	88,0	2,0	1,0	91,0

Из данных таблицы 1 очевидно, что после высушивания цельного молочного сырья и изолированных его компонентов получают ингредиенты с высокой пищевой плотностью и общим содержанием сухих веществ от 71 до 96 %. Введение в рецептуру даже небольшого количества таких ингредиентов из молочного сырья может значительно улучшить пищевую ценность готового продукта, особенно по содержанию белка и изменению соотношения между белками, жирами и углеводами. Именно эта возможность особенно важна в производстве специализированной пищевой продукции. Дополнительными преимуществами, которые делают сухие ингредиенты из молочного сырья незаменимыми в производстве многих пищевых продуктов, являются нейтральный вкус, хорошая растворимость и длительные сроки их годности.

Все виды сухого молочного сырья есть в составе специализированных пищевых продуктов для питания спортсменов, которые представлены в разных формах: блюда быстрого приготовления, каши, коктейли, сухие смеси, батончики и пр. Казеин, концентраты сывороточных белков, гидролизаты казеина и белков молочной сыворотки или различные сочетания этих ингредиентов есть в составе преимущественного большинства продуктов для энтерального питания. Специализированные продукты диетического профилактического и диетического лечебного питания, показанные при болезнях желудочно-кишечного тракта, для онкологических больных, детоксикационные продукты, наборы для худеющих и продукты с другими назначениями, в большинстве своем представляют собой пищевые концентраты, зна-

чительная доля в которых приходится на сухое молочное сырье [8].

О том, что в России производство сухих молочных ингредиентов налажено крайне недостаточно и на практике имеются только единичные примеры промышленного производства концентратов сывороточных белков, хорошо известно. Проблема устранения зависимости от импортных поставок молочного сырья решается на государственном уровне с помощью поддержки в виде грантов различного уровня.

Например, в ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» совместно с индустриальными партнерами, в рамках Грантов Минобрнауки России, за предыдущие два года проведены и продолжаются в настоящее время исследования по двум направлениям в области специализированных пищевых продуктов для детей. При создании пилотного производства отечественных белковых компонентов – основы сухих молочных продуктов для питания новорожденных и детей до 6 месяцев разработаны технологические основы получения начальной адаптированной смеси с использованием углеводно-белкового компонента [9]. Другой проект нацелен на разработку технологии получения специализированных молочных продуктов с пониженной аллергенностью для детского питания на основе гидролизатов молочных белков [10].

В свете актуализации вопросов иммунной защиты населения ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» выполняет работы по гранту Российского научного фонда «Пищевые ингредиенты, повышающие эффективность вакцинации против коронавирусной инфекции: технология, доклиническая оценка *in vivo*». В рамках этих исследований белки молока использованы как носители функциональных пищевых ингредиентов, предотвращающая их разрушение в технологическом процессе [11, 12].

По государственными заданиям проводятся фундаментальные исследования, направленные на разработку:

- дифференцированных рекомендаций по оптимизации питания населения для профилактики ожирения и социально-значимых заболеваний;
- инновационных подходов к оптимизации питания высококвалифицированных спортсменов с целью изучения их адаптационного потенциала и спортивной формы.

Все это работы современного научно-методологического уровня с возможностью выполнения и доклинических, и клинических исследований. При создании новых продук-

тов во всех перечисленных темах применяют сухое молочное сырье.

Цельное молоко и/или цельное вторичное молочное сырье, такое как пахта, обезжиренное молоко и сыворотку, также можно использовать для производства специализированной продукции. В лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» успешно завершены работы по созданию специализированного кисломолочного биопродукта диетического лечебного и диетического профилактического питания. Продукт предназначен взрослым для повышения адаптационного потенциала организма после перенесенных острых респираторных заболеваний, включая COVID-19, как дополнительный источник витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, аминокислот и пробиотических микроорганизмов. В качестве основного сырья в данном продукте использована пахта, получаемая в производстве сладкосливочного масла, и сухое обезжиренное молоко.

Исследования клинической эффективности разработанного продукта показали хорошую его переносимость пациентами и отсутствие побочных эффектов. Разработанная технология в настоящее время внедрена в промышленное производство.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Выполненные работы выявили важные для молочной промышленности моменты. Во-первых, несмотря на добавленные ингредиенты, себестоимость многих специализированных молочных продуктов намного ниже импортных аналогов. Во-вторых, большинство специализированных продуктов на основе цельного и сухого молочного сырья можно классифицировать в соответствии с требованиями Технического регламента «О безопасности молока и молочной продукции» по существу как молочные, молочные составные либо молокосодержащие [13]. В-третьих, производство специализированных продуктов на основе цельного и сухого молочного сырья не требует дополнительного перевооружения молочного завода. Предприятия, имеющие в своем арсенале автоматы для порционной асептической упаковки, вполне могут освоить производство специализированных пищевых продуктов, в том числе и диетического лечебного, и диетического профилактического питания с использованием различного молочного сырья.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие направления производства специализированной пищевой продукции в молочной промышленности поможет не только целенаправленно и комплексно использовать сырье, расширять ассортимент продукции, но и завоевать авторитет у больших слоев населения, которые заботятся о своем здоровье.

*Материал подготовлен в рамках государственного задания FGMP-2022-0002.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попова А.Ю., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // Вопросы питания. 2021. Т. 90, № 4. С. 6–19.
2. Технический регламент Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза № 880 от 9 декабря 2011 г.
3. Strategyisatrademark of Global Industry Analysts, Inc. USA. Обновляется в течение суток. URL: <https://www.strategyr.com>.
4. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20.
5. О реализации Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации. URL: <http://council.gov.ru/activity/documents/139304/> (дата обращения 16.11.2023).
6. Технический регламент Таможенного союза ТРТС027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания». Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии № 34 от 15 июня 2012 г.
7. ТР ТС 022/2011 Технического регламента таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки»: принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 881. Москва : Изд-во стандартов, 2011. 29 с.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 27 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 27 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*

8. Инновации в питании для взрослых: Ежегодное издание с каталогом. Выпуск 1 / Под ред. В.А. Тутельяна, Д.Б. Никитюка, А.В. Погожевой, А.Е. Шестопалова, Т.С. Поповой. Москва : ООО «Медицинское информационное агентство», 2021. 176 с.

9. Комплексный подход по реализации полного инновационного цикла производства отечественных адаптированных смесей и лечебного питания / И.М. Донник, С.В. Кузьмин, С.Г. Майзель, С.В. Симоненко, Е.С. Семенова, Е.С. Симоненко // Пищевая промышленность. 2022, № 11. С. 16–18.

10. Исследование параметров процесса гидролиза белков молока с использованием ферментных препаратов отечественного производства / Е.С. Семенова, Е.С. Симоненко, С.В. Симоненко, С.Н. Зорин, Н.А. Петров, В.К. Мазо // Пищевые системы. 2023. Т. 6. № 2. С. 224–232.

11. Novokshanova A. [et al.]. The development of food module of high biological value enriched with phycocyanin // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2023. Т. 2777. № 1.

12. Novokshanova A., Bilyalova A., Aksenov I. Spectrometric study of the interaction of phycocyanins with egg proteins // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2023. Т. 463. С. 01021.

13. Технический регламент Таможенного союза ТРТС033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции». Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии № 67 от 9 октября 2013 года.

## Информация об авторах

*А. Л. Новокшанова – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «ФИЦ питания и биотехнологии».*

## Information about the authors

*A.L. Novokshanova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology".*





## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОПАРТИКУЛЯТА СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ В МОРОЖЕНОМ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СОМО

Анна Валентиновна Ландиховская <sup>1</sup>, Антонина Анатольевна Творогова <sup>2</sup>,  
Светлана Евгеньевна Кочнева <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российская академия наук, Москва, Россия

<sup>1</sup> anna.landih@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5881-2309>

<sup>2</sup> antvorogova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7293-9162>

<sup>3</sup> skochneva01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6599-1744>

**Аннотация.** Для восполнения дефицита белка в рационе питания необходимо производство продуктов с повышенным его содержанием. Важными источниками белка являются побочные продукты переработки сыворотки и обезжиренного молока в виде концентрированных форм. Целью исследований являлось изучение показателей качества мороженого с низким содержанием жира и сухого обезжиренного молочного остатка при дополнительном введении сывороточного белка в виде микропартикулята. Установлено, что при увеличении содержания белка за счет микропартикулята сывороточных белков в 1,2 раза в мороженом с низким содержанием сухих обезжиренных веществ молока (3 %) при массовой доле жира (1 %) достигаются технологически значимые показатели качества продукта с содержанием жира 4 %. Однако по показателю «условная твердость» (10Н) такое мороженое уступало контрольному. При повышении содержания белка в мороженом в 1,8 раза до уровня 6 % значение условной твердости составляло 5,8Н и не имело значимых различий с контрольным образцом. Титруемая кислотность в образце с наибольшим содержанием белка (6 %) достигала уровня традиционного продукта, динамическая вязкость была больше в 1,5 раза, улучшалась дисперсность кристаллов льда. Но при этом формировались наиболее крупные воздушные пузырьки со средним размером 41 мкм, в контроле – 35 мкм. По результатам органолептической оценки образцов установлено положительное влияние повышенного содержания микропартикулятов сывороточных белков на консистенцию мороженого. Установлена необходимость использования пищевкусовых добавок для нивелирования влияния низкого содержания сухих обезжиренных веществ молока на вкус продукта. С учетом технологически значимых показателей качества мороженого с низким содержанием сухих обезжиренных веществ молока при дополнительном введении микропартикулята сывороточных белков можно производить на действующих предприятиях отрасли с целью расширения ассортимента продукции функциональной направленности.

**Ключевые слова:** микропартикулят сывороточного белка, вязкость, твердость, дисперсность структурных элементов.

**Благодарности:** Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022–0013 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

**Для цитирования:** Ландиховская А.В., Творогова А.А., Кочнева С.Е. Использование микропартикулята сывороточных белков в мороженом с низким содержанием СОМО // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 12–20. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.002, EDN:<https://elibrary.ru/GQIMOX>.

Original article

## USE OF MICROPARTICULATE OF WHEY PROTEINS IN ICE CREAM WITH A LOW CONTENT OF MILK SOLIDS NONFAT

Anna V. Landikhovskaya<sup>1</sup>, Antonina A. Tvorogova<sup>2</sup>, Svetlana E. Kochneva<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry - branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

<sup>1</sup> anna.landih@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5881-2309>

<sup>2</sup> antvorogova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7293-9162>

<sup>3</sup> skochneva01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6599-1744>

**Abstract.** The production of foods with the increased content of protein is necessary for compensation of its deficiency in food ratio. By-products of processing of whey and skimmed milk in the form of concentrates are the important sources of proteins. Study of quality indicators of ice cream with a low content of fat and dry milk solids nonfat with the additional introduction of proteins with microparticulate of whey proteins was the purpose of research. It has been established that by the increasing of protein content by 1.2 times due to whey protein microparticulate in ice cream with a low content of dry milk solids nonfat (3%) and a mass fraction of fat (1%) the technologically significant quality indicators of the product with a fat content (4 %) are being achieved. However according the indicator "conditional hardness" (10 H) such an ice cream was inferior to a control one. With increasing of protein content in the ice cream by 1.8 times to the level of 6% the value of conditional hardness was 5.8 H and had no significant differences with the control sample. The titratable acidity in the sample with the highest content of protein (6%) reached the level of a traditional product; the dynamic viscosity was more by 1.5 times, the dispersion of ice crystals was improved. But at the same time the biggest air bubbles with the average size of 41  $\mu\text{m}$  were forming, in the control of - 35  $\mu\text{m}$ . According the results of the organoleptic assessment of the samples, a positive influence of the increased content of whey protein particulates on the consistency of ice cream was established. The necessity of usage of food additives for leveling the influence of a low content of milk solids nonfat in a product has been established. Taking into account the technologically significant quality indicators, the ice cream with a low content of milk solids nonfat with additional introduction of whey protein particulates can be produced at acting ice cream factories for the expanding of functional foods assortment.

**Keywords:** whey protein microparticulate, viscosity, hardness, dispersion of structural elements.

**Acknowledgements:** The article is prepared as part of the research under the State Assignment No. FGUS-2022-0013 of Gorbатов Federal State Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences.

**For citation:** Landikhovskaya, A.V., Tvorogova, A.A. & Kochneva, S.E. (2024). Use of microparticulate of whey proteins in ice cream with a low content of milk solids nonfat. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 12-20. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.002. EDN: <https://elibrary.ru/GQIMOX>.

### ВВЕДЕНИЕ

В организме человека белок выполняет жизненно важные функции. Учитывая, что он образуется из аминокислот, поступающих в клетки в результате переваривания белка пищи, важно обеспечить качественный и количественный состав этого нутриента. Однако в настоящее время существует острая проблема нехватки белка в рационе питания, в связи с чем возникает необходимость производства продуктов, обогащенных белком [1]. Физиологическая потребность в белке

для взрослого населения составляет 12–14% от энергетической ценности суточного потребления [2]. В качестве дополнительного источника белка рационально использовать концентраты и изоляты молочных и сывороточных белков, обладающих высокой биологической ценностью и функциональными технологическими свойствами. Сывороточные белки и казеин неодинаково влияют на обмен веществ, поскольку по-разному усваиваются организмом человека [3].

Концентраты молочного белка по соотношению казеина и сывороточных белков

(4:1) мало отличаются от молока-сырья [4]. Их производят методом ультрафильтрации с целью снижения содержания лактозы и повышения содержания белка. Молочные белки влияют на вязкость, способствуют образованию пены и участвуют в гелеобразовании [5]. Все молочные белки проявляют амфифильные свойства, адсорбируются на границе раздела фаз и участвуют в стабилизации межфазных поверхностей, при этом влияние белков казеиновых и сывороточных различается [6]. В производстве функциональных продуктов питания огромное значение имеют сывороточные белки и их производные. Сывороточные белки относятся к легкоусвояемым, они способствуют наращиванию мышечной массы, что обуславливает их использование в спортивном питании [7]. Изолят сывороточного белка, являясь побочным продуктом сыроделия, обладает высокой пищевой ценностью. Он характеризуется гелеобразующими свойствами и подвергается модификации с целью достижения необходимых функциональных технологических свойств [8]. Микропартикулят сывороточных белков получают из нативных сывороточных белков путем термической денатурации и агрегации. В зависимости от размера частиц он по-разному влияет на органолептические и реологические свойства молочных продуктов [9]. Содержание белка в концентрате сывороточного белка может варьироваться от 30 до 85 %, в изоляте сывороточного белка – более 90 % [10].

В 100 г традиционного мороженого белка содержится от 3,4 до 3,7 г в зависимости от массовой доли СОМО. Увеличить содержание белка за счет большего внесения белков СОМО невозможно в связи с высоким содержанием в нем лактозы, избыток которой сказывается на структуре продукта в процессе хранения [11]. В связи с этим рационально для повышения содержания белка в мороженом использовать концентраты молочных белков, характеризуемые более низким содержанием лактозы и более высокое содержание белка, чем сухое обезжиренное молоко.

С экономической точки зрения наиболее дешёвым белковым ингредиентом для использования в производстве мороженого является микропартикулят сывороточного белка с содержанием белка на уровне 55 % по сравнению с концентратом сывороточного белка (белка 80 %). Использование сывороточных белков в виде концентратов и микропартикулятов позволяет увеличить объемы использования на производство пищевой

продукции побочных продуктов переработки молока. Производство мороженого с массовой долей СОМО 10 % при дополнительном введении белка затруднено из-за высокой вязкости смеси. Значительно больше белка можно ввести в мороженое, характеризуемое более низким уровнем СОМО. Эту разновидность можно производить как продукт с отличительными признаками «источник белка» и «высокое содержание белка» [12].

Целью исследований являлось изучение показателей качества мороженого с низким содержанием жира и сухого обезжиренного молочного остатка при дополнительном введении сывороточного белка в виде микропартикулята.

## МЕТОДЫ

Для производства мороженого использовалось следующее сырье: сливочное масло с м.д.ж. 82,5 % по ГОСТ Р 32261-2013, сухое обезжиренное молоко по ГОСТ 33629-2015, сахар по ГОСТ 33222-2015, концентрат сывороточных белков-микропартикулят КСБ-УФ-55 по ГОСТ Р 53456-2009, пищевые волокна – инулин (Beneo-Orafti, Бельгия), мальтодекстрин по ГОСТ 34274-2017, комплексный стабилизатор-эмульгатор Cremodan 334 (Danisco).

Пищевую ценность образцов мороженого определяли расчётным способом, используя характеристики используемого сырья.

Динамическую вязкость смеси измеряли ротационным вискозиметром DVII+Pro с программным обеспечением Rheocalc V3.1-1 (Brookfield, США). Исследование проводили при постоянной температуре  $(4 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ .

Показатели твердости были получены с использованием анализатора структуры LFRA Texture Analyzer (Brookfield, США) с ПО TexturePro Lite v1.

Тесты на формо- и термоустойчивость образцов проводили с использованием термостата с предварительно установленной температурой  $(20 \pm 1,5) ^\circ\text{C}$ . Для построения графика термоустойчивости определяли массовую долю плава, образующуюся через 60 мин и до достижения 120 мин с шагом в 10 мин. Термоустойчивость оценивали по полученным фотографиям изменения формы образцов каждые 10 мин до растекания плава.

Дисперсность воздушной фазы и кристаллов льда определяли с использованием микроскопа CX-41 (Olympus, Япония), увеличение  $\times 100$ . Дополнительно при исследовании кристаллов льда при температуре минус  $18 ^\circ\text{C}$  применяли столик Пельтье PE 120 (Linkam, Великобритания). В полученных микрофотографи-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2024

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОПАРТИКУЛЯТА СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ В МОРОЖЕНОМ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СОМО

ях с использованием программы Image Scope определяли размер структурных элементов.

Обработку данных и построение графиков проводили с использованием программ Statistica 10, Past 4.0.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработаны рецептуры молокосодержащего мороженого с содержанием сухих веществ, характерных для традиционного молочного мороженого (29,5 % и 30,5 %). Для восполнения сухих веществ до указанного уровня применяли мальтодекстрин и растворимое пищевое волокно инулин. Основное содержание белка в мороженом достигалось за счет микропартикулята сывороточных белков (МПСБ). Близкое содержание сухих веществ являлось основанием для сравнения показателей качества мороженого. Образцы

отличались по содержанию жира (1 %, 2,2 % и 4 %), белка (4 %, 6,2 % и 6,6 %) и СОМО (1 % и 3 %). Контрольный образец в наибольшей степени соответствовал составу традиционного мороженого. Состав мороженого и его пищевая ценность приведены в таблице 1.

Выбор МПСБ в качестве источника белка обусловлен не только его низкой стоимостью по сравнению с КСБ, но и термоустойчивостью модифицированных сывороточных белков, что позволяет проводить пастеризацию при температуре (84±1) °С. Использование инулина в образцах с повышенным содержанием белка для восполнения сухих веществ позволяет маркировать такой продукт «источник пищевых волокон».

Таблица 1 – Характеристика и пищевая ценность образцов мороженого

Table 1 – Characteristics and nutritional value of ice cream samples

Показатели	Образцы		
	контроль	№ 1	№ 2
Общее содержание сухих веществ, %, не менее, в т.ч.	29,5	29,5	30,5
массовая доля молочного жира, %, не менее	4,0	2,2	1,0
массовая доля СОМО, %, не менее	3,0	3,0	1,0
массовая доля сахарозы, %, не менее	15,5	15,5	15,5
массовая доля стабилизатора-эмульгатора, %/, не менее	0,66	0,66	0,66
массовая доля МПСБ, %, не менее	4,2	5,2	9,9
массовая доля инулина, %, не менее	–	3,0	2,8
массовая доля мальтодекстрина, %, не менее	2,3	–	–
Пищевая ценность			
Белка, не менее, г	3,4	3,8	6,1
Жира, не менее, г	4,6	2,9	1,9
в т.ч. молочного жира	4,0	2,2	1,0
Углеводов, не менее, г	20,8	18,6	18,8
Пищевых волокон, не менее, г	–	3,0	3,0
Энергетическая ценность на 100 г, ккал	138	121	122
Калорийность белка от общей калорийности, %	9,8	12,5	20,0
Содержание лактозы, г, не менее	2,7	2,9	3,1

Изучено влияние повышенного содержания микропартикулята сывороточного белка

на технологически значимые показатели смесей для мороженого (табл. 2).

Таблица 2 – Показатели смеси молокосодержащего мороженого

Table 2 – Indicatorsofmilk-containingice cream mixture

Показатели	Образцы		
	контроль	№ 1	№ 2
Криоскопическая температура, °С	-1,97±0,02 <sup>a</sup>	-2,01±0,01 <sup>a</sup>	-2,4±0,05
Динамическая вязкость до созревания, мПа·с при градиенте сдвига на срез 0,83 с <sup>-1</sup>	256,3±4,6	287,8±12,2	415,9±12,2
Динамическая вязкость после созревания, мПа·с, при градиенте сдвига на срез 0,83 с <sup>-1</sup>	207,4±7,0	219,7±5,9	317,8±6,0
Значения с одинаковой буквой в одной строке не имеют значимых различий (p > 0,05)			



Как видно из таблицы 2, наибольшая вязкость установлена в смеси образца № 2 с содержанием жира и СОМО 1 %, но с наибольшей массовой долей белка. Использование МПСБ в качестве основного источника белка привело к снижению вязкости смеси после созревания (от 19 до 23 %), что позволяет предположить, что белки МПСБ образует непрочные связи с водой.

Наиболее низкая криоскопическая температура в образце № 2 обусловлена сравнительно высоким содержанием лактозы и сухих веществ по сравнению с другими образцами, в которых данный показатель не отличался.

Образец № 2 характеризовался самым низким значением взбитости (45 %), что ха-

рактеризует его пониженную способность к насыщению воздухом. Образец № 1 по этому показателю не отличался от контрольного образца (69 % – № 1 и 67 % – контроль). Все образцы вырабатывали во фризере без принудительной подачи воздуха. Различия в способности смесей к насыщению воздухом обусловлены разным соотношением в образцах белков казеина и сывороточных и отличиями в вязкости смесей после созревания. Различия в составе белков сказались и на дисперсности воздушной фазы, определяемой средним размером воздушных пузырьков и их содержанием менее 50 мкм. В табл. 3 и на рис. 1 приведены данные о дисперсности воздушной фазы в образцах.

Таблица 3 – Дисперсность воздушной фазы в мороженом с МПСБ

Table 3 – Dispersion of air phase in the ice cream with MPWP

Показатель	Образцы		
	контроль	№ 1	№ 2
<i>Закаливание</i>			
Средний размер воздушных пузырьков, мкм	35,4±2,12	35,7±4,40	41,1±1,84
Доля воздушных пузырьков размером до 50 мкм, %	79	81	68
<i>Через 3 месяца хранения</i>			
Средний размер воздушных пузырьков, мкм	38,7±0,45	34,2±2,07	46,5±1,36
Доля воздушных пузырьков размером до 50 мкм, %	69	81	60

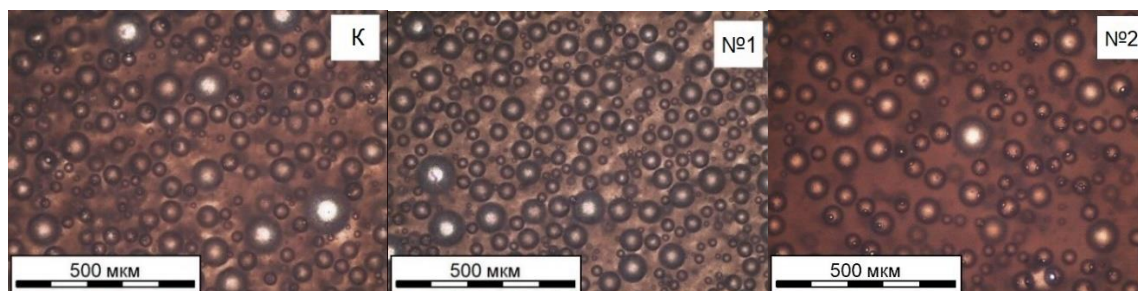


Рисунок 1 – Микрофотографии воздушных пузырьков в мороженом через 3 месяца хранения

Figure 1 – Microphotographs of air bubbles in ice cream after 3 month of storage

В образце № 2 с наименьшей взбитостью образовались наиболее крупные воздушные пузырьки, что, видимо, обусловлено меньшим содержанием белков СОМО в этом образце, участвующим в стабилизации воздушной фазы. В образце № 1 образовалась наиболее стабильная воздушная фаза, что, возможно, обусловлено соотношением белков казеина и сывороточных. Установлено, что количественный и качественный состав белков оказывает влияние на титруемую кислотность мороженого (рис. 2).

По мере увеличения массовой доли общего белка в образцах происходит увеличение пока-

зателя «титруемая кислотность». На этот показатель оказывают влияние белки, свободные аминокислоты и минеральные соли СОМО и МПСБ. Рост количества кислых аминокислот в совокупности с минеральными солями приводит к увеличению титруемой кислотности.

Изменение количественного и качественного состава белковой фракции не оказало заметного влияния на термо- и формоустойчивость готового продукта. На рис. 3. представлены данные по термоустойчивости образцов, из которых следует, что наиболее термоустойчивым является контрольный об-

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОПАРТИКУЛЯТА СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ В МОРОЖЕНОМ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СОМО

разец с традиционным содержанием белка.

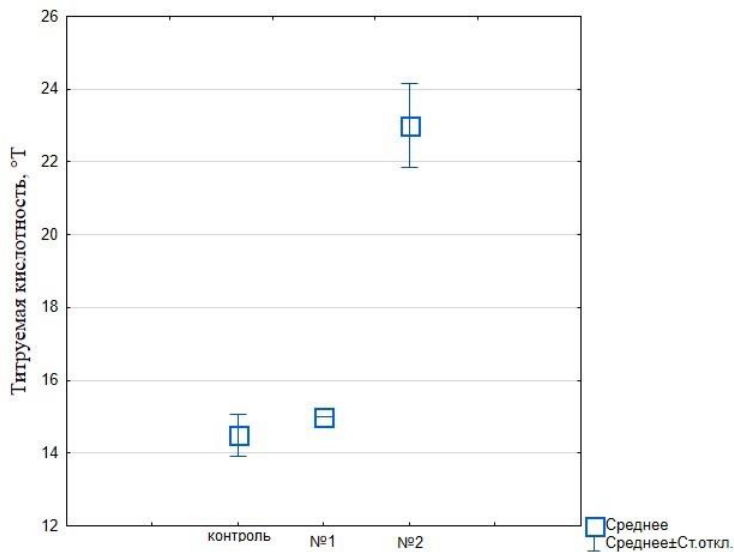


Рисунок 2 – Титруемая кислотность мороженого с МПСБ

Figure 2 – Titratable acidity of ice cream with MPWP

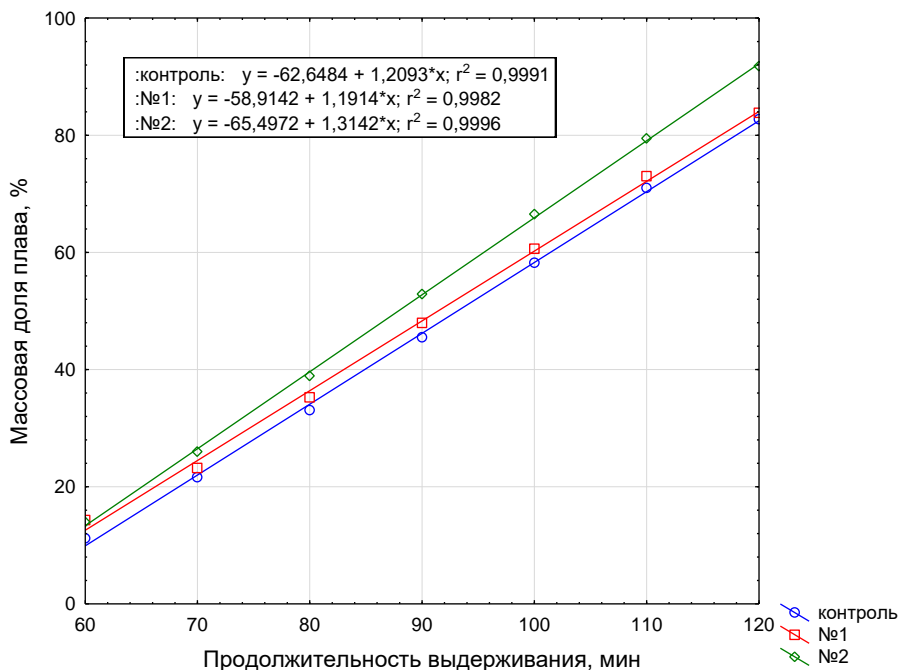


Рисунок 3 – Влияние МПСБ на устойчивость мороженого к таянию

Figure 3 – Influence of MPWP on the resistance of ice cream to melting

По данным рисунка 3 установлено, что через 60 мин с момента термостатирования в контрольном образце образовалось 11 % плава, в образце № 1 и № 2 – всего лишь на 3 % больше. Динамика образования плава сохранялась на протяжении всего времени

термостатирования. Данные по формоустойчивости образцов коррелируют с данными по термоустойчивости (рис. 4). Значимых различий по формоустойчивости образцов не было установлено.

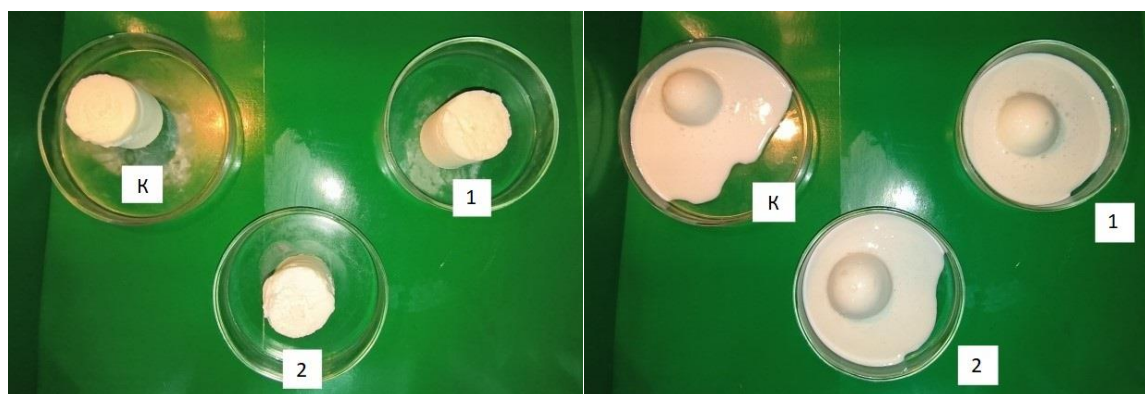


Рисунок 4 – Состояние порций мороженого через 0 мин (слева) и через 40 мин (справа) выдерживания при температуре  $(20 \pm 0,5) \text{ }^\circ\text{C}$ .

Figure 4 – State of ice cream portions after 0 min (left) and after 40 min (right) of storage at the temperature of  $(20 \pm 0.5) \text{ }^\circ\text{C}$

В табл. 4 приведены данные о дисперсности кристаллов льда в образцах. Как следует из данных, приведенных в табл. 4, наибольшая дисперсность кристаллов льда достигнута в образце № 2 с высоким содер-

жением МПСБ, что возможно обусловлено, как это ранее уже отмечалось, их способностью инициировать образование кристаллов льда.

Таблица 4 – Дисперсность кристаллов льда в образцах мороженого с МПСБ

Table 4 – Dispersion of ice crystals in ice cream samples with MPWP

Показатель	Образцы		
	контроль	№ 1	№ 2
<i>Закаливание</i>			
Средний размер кристаллов льда, мкм	34,2±1,75	35,3±0,42	30,3±1,84
Доля кристаллов льда размером до 50 мкм, %	92	89	93
<i>Через 1 месяц хранения</i>			
Средний размер кристаллов льда, мкм	37,4±1,15	38,8±0,80	33,3±0,64
Доля кристаллов льда размером до 50 мкм, %	84	82	89
<i>Через 3 месяца хранения</i>			
Средний размер кристаллов льда, мкм	39,0±2,50	40,1±1,05	36,5±0,76
Доля кристаллов льда размером до 50 мкм, %	83	81	87

Несмотря на то, что образец № 2 характеризовался наименьшей взбитостью, наибольшая дисперсность кристаллов льда и наименьшая воздушная фаза оказали доминирующее влияние на твердость мороженого, она была соизмерима с твердостью контрольного образца и значительно меньше, чем у образца № 1. На рис. 5 приведены данные об условной твердости образцов. Органолептическая оценка образцов контрольного, № 1 и № 2 значительно не отличалась (табл. 5). Самую высокую балльную оценку

по результатам дегустации получили контрольный образец и № 1. Во всех образцах был отмечен повышенный охлаждающий эффект, что ценят потребители в летний период, и слабо выраженный молочный вкус. Отмеченные особенности мороженого характерны для его разновидностей с пониженным содержанием жира и СОМО. Для повышения потребительских свойств этой разновидности мороженого рекомендовано применение пищевых продуктов, в частности фруктов и продуктов их переработки.

Таблица 5 – Результаты дегустационной оценки образцов

Table 5 – Sample tasting results

Образцы	Вкус и аромат	Структура и консистенция	Цвет и внешний вид	Общая балловая оценка
Контроль	5,6±0,25	2,5±0,18	1,0±0,00	9,1
№ 1	5,6±0,13	2,5±0,15	1,0±0,00	9,1
№ 2	5,5±0,33	2,4±0,29	1,0±0,00	8,9

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОПАРТИКУЛЯТА СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ В МОРОЖЕНОМ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СОМО

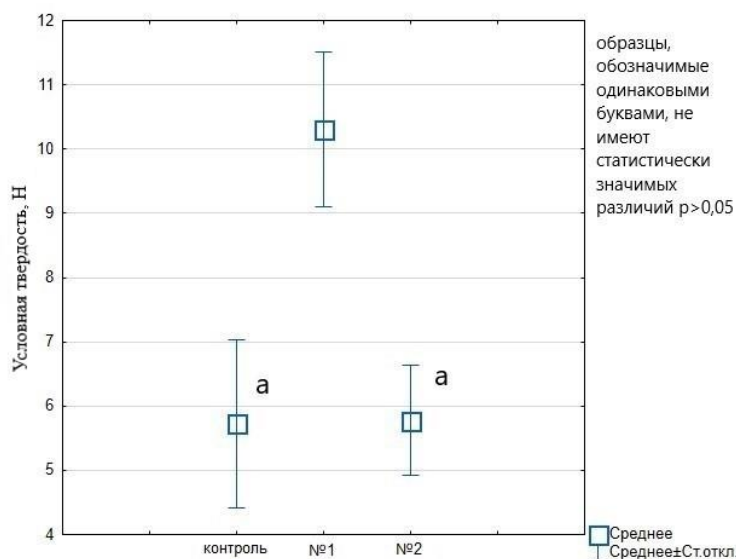


Рисунок 5 – Условная твердость образцов мороженого с низким содержанием СОМО

Figure 5 – Conditional hardness of ice cream samples with low content of milk solids nonfat

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы показатели качества мороженого с низким содержанием СОМО при дополнительном введении белка с МПСБ. Установлено, что увеличение в мороженом в 1,8 раза содержания белка в смеси и присутствие в составе МПСБ минеральных солей приводит:

- к достижению уровня титруемой кислотности традиционного продукта;
- к повышению динамической вязкости в 1,5 раза;
- к незначительному понижению способности смеси к насыщению воздухом и дисперсности воздушной фазы;
- к повышению дисперсности кристаллов льда и твердости мороженого.

По результатам органолептической оценки образцов установлена необходимость использования пищевкусных добавок для формирования более полного вкуса молоко-содержащего мороженого.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гетманец, В.Н. Разработка рецептур коктейлей функционального назначения // Ползуновский вестник. 2021. № 3. С. 123–130. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.017.
2. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». Москва: Фе-

деральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. 72 с. Режим доступа: [https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT\\_ID=18979](https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979).

3. Sensory properties of foods functionalised with milk proteins / A. Balivo [et al.] // Food Hydrocolloids. Vol. 147. Part A. 109301. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.109301.

4. Contribution of whey protein denaturation to the in vitro digestibility, biological activity and peptide profile of milk protein concentrate / Khaledi, M. [et al.] // Journal of Functional Foods. 2023. Vol. 104. 105543. DOI: 10.1016/j.jff.2023.105543.

5. Functional properties of milk protein concentrate and micellar casein concentrate as affected by transglutaminase treatment / P. Salunke [et al.] // Food Hydrocolloids. 2023. Vol. 137 / Article 108367. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.108367.

6. Structure and rheological properties of oil-water and air-water interfaces stabilized with micellar casein isolate and whey protein isolate mixtures / Zhou, X. [et al.] // Food Hydrocolloids. 2022. Vol. 133. Article 107946. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.107946.

7. Whey proteins processing and emergent derivatives: An insight perspective from constituents, bio-activities, functionalities to therapeutic applications / R. Mehra [et al.] // Journal of Functional Food. 2021. Vol. 87. 104760. DOI: 10.1016/j.jff.2021.104760.

8. Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate / S. Roy [et al.] // Applied Food Research. 2022. Vol. 2, № 1. 100029. DOI: 10.1016/j.afres.2021.100029.

9. The impact of extruded microparticulated whey proteins in reduced-fat, plain-type stirred yogurt: Characterization of physicochemical and sensory properties / M.K. Hossain, [et al.] // LWT. 2020.

Vol. 134. 109976. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109976.

10. Comparison of functional properties of 34 % and 80 % whey protein and milk serum protein concentrates / P.J. Luck [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96. № 9. P. 5522-5531. DOI: 10.3168/jds.2013-6617.

11. Творогова, А.А. Мороженое в России и СССР: Теория. Практика. Развитие технологий / А.А. Творогова. СПб. : ИД «Профессия», 2021. 249 с.

12. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011. «Пищевая продукция в части ее маркировки». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 881.

### Информация об авторах

А. В. Ландиховская – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории технологии мороженого ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

А. А. Творогова – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории технологии мороженого ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

С. Е. Кочнева – инженер лаборатории технологии мороженого ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

### REFERENCES

1. Getmanets, V.N. (2021). Development of functional cocktail formulations. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 123-130. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.017.

2. Federal'naja sluzhba po nadzoru v sfere zashhity prav potrebitel'j i blagopoluchija cheloveka. Metodicheskie rekomendacii MP 2.3.1.0253-21 «Normy fiziologicheskikh potrebnoستهj v jenergii i pishhevyh veshhestvah dlja razlichnyh grupp naselenija Rossijskoj Federacii». Moscow: Federal'nyj centr gigeny i jepidemiologii Rospotrebnadzora; 2021. 72 p. Available from: [https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT\\_ID=18979](https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979) (In Russ).

3. Balivo, A., d'Errico, G., Genovese, A. Sensory properties of foods functionalised with milk proteins. *Food Hydrocolloids*, 147 (A), 109301. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.109301.

4. Khalesi, M., Cermeño, M., FitzGerald, R.J. (2023). Contribution of whey protein denaturation to the in vitro digestibility, biological activity and peptide profile of milk protein concentrate *Journal of Functional Foods*, 104, Article 105543. DOI: 10.1016/

j.f.2023.105543.

5. Salunke, P., Metzger L.E. (2023). Functional properties of milk protein concentrate and micellar casein concentrate as affected by transglutaminase treatment. *Food Hydrocolloids*, 137, Article 108367. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.108367.

6. Zhou, X., Sala, G., Sagis, L.M.C. (2022). Structure and rheological properties of oil-water and air-water interfaces stabilized with micellar casein isolate and whey protein isolate mixtures. *Food Hydrocolloids*, 133, Article 107946. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.107946.

7. Mehra, R., Kumar, H., Kumar, N., Ranvir, S., Jana, A., Buttar, H.S. [et al.]. (2021). Whey proteins processing and emergent derivatives: An insight perspective from constituents, bioactivities, functionalities to therapeutic applications. *Journal of Functional Food*, 87, Article 104760. DOI: 10.1016/j.jff.2021.104760.

8. Roy, S., Hussain, S.A., Prasad, W.G., Khetra, Y. (2022). Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. *Applied Food Research*, 2(1), Article 100029. DOI: 10.1016/j.afres.2021.100029.

9. Hossain, M.K., Keidel, J., Hensel, O., Diakité, M. (2020). The impact of extruded microparticulated whey proteins in reduced-fat, plain-type stirred yogurt: Characterization of physicochemical and sensory properties. *LWT*. 134. Article 109976. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109976.

10. Luck, P.J., Vardhanabuthi, B., Yong, Y.H., Laundon, T., Barbano, D.M., Foegeding, E.A. (2013). Comparison of functional properties of 34% and 80% whey protein and milk serum protein concentrates. *Journal of Dairy Science*. 96(9). P. 5522-5531. DOI: 10.3168/jds.2013-6617.

11. Tvorogova, A.A. (2021). Ice cream in Russia and the USSR: Theory, practice. Technology development. St. Petersburg: Professiya, 249 p. (In Russ.).

12. Food Products in Terms of Labeling. (2011). TR CU 022/2011. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/902320347>.

### Information about the authors

A.V. Landikhovskaya - Candidate of Technical Sciences, Research Associate, the laboratory of ice cream technology, VNIKHI - Branch of Gorbatov Federal Research Center for Food Systems.

A.A. Tvorogova - doctor of technical sciences, chief researcher, the laboratory of ice cream technology, VNIKHI - Branch of Gorbatov Federal Research Center for Food Systems.

S.E. Kochneva - engineer, laboratory of ice cream technology, VNIKHI - Branch of Gorbatov Federal Research Center for Food Systems.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 28 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.





Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК544.773.32: 664.3.033.1

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.003

 EDN: GFAUJB

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКА ГОРОХА С ПОЛИСАХАРИДАМИ СЕМЯН ЛЬНА В ЭМУЛЬСИЯХ «МАСЛО В ВОДЕ»

Агата Анатольевна Яковлева <sup>1</sup>, Валентин Игоревич Ущাপовский <sup>2</sup>,  
Ирина Эдуардовна Миневиц <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

<sup>1</sup> a.goncharova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5977-5669>

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

<sup>3</sup> i.minevich@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

**Аннотация.** Полисахариды, получаемые водной экстракцией из семян льна (*Linum usitatissimum* L.), обладают высокой водоудерживающей способностью и являются перспективными связующими агентами для различных технологий в пищевой промышленности. В работе изучено взаимодействие льняных полисахаридов и изолята горохового белка в эмульсиях прямого типа «масло в воде». В эмульсии, состоящие из белка, подсолнечного рафинированного дезодорированного масла и воды, вводили полисахариды семян льна в количестве от 0,1 до 0,4 г. При определении физико-химических свойств исходного сырья было выявлено, что в составе горохового белка основными были водо- и солерастворимые фракции (суммарное содержание 80 %). Значения водоудерживающей и жиродерживающей способностей для исследуемого сырья составили – у белка гороха 2,5 г/г и 0,8 г/г, а у льняных полисахаридов – 15,0 г/г и 1,0 г/г соответственно. Установлено, что наличие полисахаридов в эмульсиях влияет на динамику фазового разделения. В контрольном образце (без полисахаридов льна) осадок выпал в течение первых 5 мин. Исследование образцов с полисахаридами показало, что процесс расслоения резко замедляется. Разделение фаз происходит в течение первых 3 часов хранения. Зависимость разделения эмульсии от наличия полисахаридов нелинейна. В вариантах с содержанием полисахаридов 0,3 г эмульсия остается однородной дольше. Выявлено влияние полисахаридов льна на межфазовую миграцию белка гороха. Полученные данные и продолжение исследования будут актуальными в пищевой промышленности и работах, связанных с физико-химическими свойствами пищевых систем и взаимодействием их компонентов.

**Ключевые слова:** полисахариды растительных слизей, белки, эмульсии, расслоение эмульсий, УФ спектры растительных белков.

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (FGSS-2022-0007).

**Для цитирования:** Яковлева А. А., Ущাপовский В. И., Миневиц И. Э. Взаимодействие белка гороха с полисахаридами семян льна в эмульсиях «масло в воде» // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 21–28. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.003, EDN: <https://elibrary.ru/GFAUJB>.

Original article

## PEA PROTEIN AND FLAXSEEDPOLYSACCHARIDES INTERACTION IN "OIL IN WATER" EMULSIONS

Agata A. Yakovleva <sup>1</sup>, Valentin I. Ushchapovskii <sup>2</sup>, Irina E. Minevich <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Federal Research Center for Bast Crops, Tver, Russia

<sup>1</sup> a.goncharova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5977-5669>

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

<sup>3</sup> i.minevich@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

© Яковлева А. А., Ущাপовский В. И., Миневиц И. Э., 2024

**Abstract.** Flaxseed polysaccharides obtained by water extraction from flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.) have a high water-holding capacity and are likely binding agents for various technologies in the food industry. The work studied the interaction of flaxseed polysaccharides and pea protein isolate in direct oil-in-water emulsions. As an experiment, emulsions were prepared consisting of: 1 g of protein, 10 g of refined deodorized sunflower oil and flaxseed polysaccharides, which were introduced in an amount of 0.1 to 0.4 g. When determining the physicochemical properties of the raw materials, it was revealed that water- and salt-soluble fractions are the main ones (total content 80%) in the composition of pea protein. The values of water-holding and fat-holding capacity were characteristic of the studied raw materials, respectively, for pea protein 2.5 g/g and 0.8 g/g, and for flax polysaccharides 15.0 g/g and 1.0 g/g. It has been established that the presence of polysaccharides in emulsions affects the dynamics of phase separation. In the control sample (without flax polysaccharides), a precipitate formed within the first 5 minutes. A study of samples with polysaccharides showed that the separation process slows down sharply. Phase separation occurs during the first 3 hours of storage. The dependence of emulsion separation on the presence of polysaccharides is not linear. In the sample containing 0.3 g of polysaccharides, the emulsion remains homogeneous longer. The influence of flax polysaccharides on the interphase migration of pea protein was revealed. The data obtained and the continuation of the research will be relevant in the food industry and work related to the physicochemical properties of food systems and the interaction of their components.

**Keywords:** plant gum polysaccharides, proteins, emulsions, emulsion separation, UV spectra of plant proteins.

**Acknowledgements:** The work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the state task of the FSSI FRC BC (FGSS-2022-0007).

**For citation:** Yakovleva, A.A., Ushchapovskii, V.I. & Minevich, I.E. (2024). Pea protein and flaxseed polysaccharides interaction in "oil in water" emulsions. *Polzunovskiy vestnik*.(4), 21-28. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.003. EDN: <https://elibrary.ru/GFAUJB>.

## ВВЕДЕНИЕ

Многие пищевые продукты частично или полностью представляют собой эмульсии: майонез, пасты, мороженое, муссы, молоко, сливочное масло, сыр, супы, напитки и прочие продукты. Эмульсии являются метастабильными системами, состоящими из двух или более несмешивающихся фаз, в которых одна фаза диспергирована в другой в виде капель [1]. Со временем капли одной фазы начинают самопроизвольно объединяться, что приводит к расслоению эмульсий. В качестве эмульгаторов в продуктах могут использоваться не только традиционные камеди и модифицированные крахмалы, но и белки из-за их амфифильного характера, который облегчает образование эмульсии, улучшает ее стабильность и обеспечивает функциональные свойства [2].

В настоящее время пшеничные и соевые белки занимают доминирующее положение на рынке пищевых протеинов. Однако резко возрастает доля использования горохового белка. Белок гороха не только сравнительно дешев, но и представляет собой гипоаллергенный ингредиент с хорошо сбалансированным аминокислотным профилем. Он содержит повышенное количество незаменимых аминокислот, треонина, изолейцина, лейцина, валина, фенилаланина, лизина, триптофана. При этом скор лизина, который участвует в различных биохимических процессах в организме человека и животных и дефицитен в большинстве растительных белков, состав-

ляет 145 % [3]. Гороховый белок считается эффективным эмульгатором эмульсий масла в воде как в нейтральных, так и кислых средах. При этом в кислых средах частичная агрегация белка (образование белковых частиц), вероятно, происходит путем самосборки молекул белка гороха [4]. Следует отметить, что использование изолята горохового белка в качестве эмульгатора недостаточно распространено, что связано с недостатком глубоких исследований о его функциональных свойствах [5].

Эмульсии, стабилизированные только белками, достаточно чувствительны к флокуляции, коалесценции, седиментации, кремообразованию (рисунок 1) в условиях дестабилизации (нагревании, изменении pH, циклах замораживания–оттаивания и пр.) [6]. Это может ограничивать широкое использование белков в качестве эффективных эмульгаторов.

Для улучшения свойств пищевых систем, в которых в качестве эмульгатора выступает белок, вводят дополнительные компоненты – пищевые гидроколлоиды. Роль гидроколлоидных ингредиентов в эмульсиях «масло в воде» проявляется в том, что многие из них являются структурирующими, загущающими, желеобразующими агентами в водной среде. Считается, что гидроколлоид замедляет и в некоторых случаях предотвращает расслоение, изменяя реологию однородной фазы [8]. Примером может служить ксантановая камедь, которая эффективна в качестве стабилизатора эмульсий. Изменение реологического поведения проявляется осо-



## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКА ГОРОХА С ПОЛИСАХАРИДАМИ СЕМЯН ЛЬНА В ЭМУЛЬСИЯХ «МАСЛО В ВОДЕ»

бенно при малых объемных долях масла: отдельные капли иммобилизованы в биополимерной сетке, а небольшая сила плавучести, действующая на каждую каплю, не достаточна для преодоления эффективного предела текучести окружающей ее биополимерной матрицы. Теоретически предела текучести всего в  $10^{-2}$  Па достаточно, чтобы предотвратить расслаивание отдельных диспергированных ка-

пель в диапазоне размеров менее  $\sim 10$  мкм [9]. Также большой размер молекул и преимущественная гидрофильность полисахаридного эмульгатора позволяют формировать более толстый стабилизирующий слой, способный защищать капли от агрегации в широком диапазоне неблагоприятных условий, таких как термошоковая обработка [10].

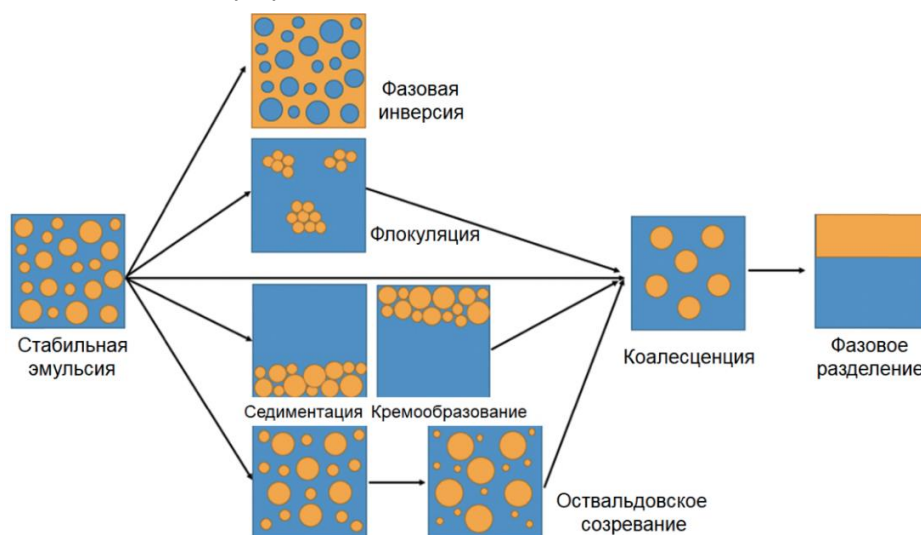


Рисунок 1 – Схема поведения капель дестабилизированной и стабильной эмульсии (адаптировано из [7])

Figure 1 – The scheme of droplets behavior of destabilized and stable emulsion (adapted from [7])

Полисахариды семян льна, относящиеся к гидроколлоидам, являются перспективным ингредиентом пищевой промышленности. Полисахариды льняной слизи образуют устойчивые эмульсии, гели и пены [11]. Их предлагают использовать для производства заправок для салатов, колбас, молочных десертов [12, 13]. Однако полисахариды семян льна целесообразно использовать с небольшим количеством белка. Как известно, при полной очистке льняной слизи от белков эмульгирующие свойства полисахаридов ухудшаются [14].

Проведение исследований по взаимодействию полисахаридов семян льна с растительными белками является актуальным, так как их взаимодействие и влияние белок-полисахаридных комплексов на пищевые системы представляет практический интерес для пищевых технологий.

**Цель** исследования – изучение влияния полисахаридов семян льна на эмульсии типа «масло в воде» с белком гороха.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

- определить физико-химические характеристики и функционально-технологические свойства исходных компонентов: изолята белка гороха и полисахаридов семян льна;
- исследовать фазовое поведение

эмульсионных систем при взаимодействии белка гороха с полисахаридами семян льна.

### МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали изолят белка гороха, полисахариды семян льна, эмульсии прямого типа «масло в воде» с участием указанных компонентов.

Изолят горохового белка (ТУ 10.89.19-002-0200216635-2019, Лобня, Россия) был приобретен в торговой розничной сети.

Полисахариды семян льна были получены в экспериментальном цехе ВНИИ маслоделия и сыроделия (ВНИИМС – филиал ФГБНУ ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова) (Углич, Россия). В качестве исходного источника полисахаридов использовали цельные семена желтосемянного сорта ЛМ-98 (урожай 2021 г., ФГБНУ ФНЦ ЛК, Торжок). Процесс экстракции проводили в дистиллированной воде при температуре 45–50 °С, при постоянном перемешивании в течение 2 часов, при соотношении воды и семян льна 15:1. После отделения полисахаридного экстракта от сырья его концентрировали с помощью роторного испарителя до 1/3 объема, далее подвергали распылительной сушке.

Эмульсии готовили в пересчете на 100 г,

состоящие из 1 г белка, 10 г подсолнечного рафинированного дезодорированного масла и льняных полисахаридов, которые вводили в количестве от 0,1 до 0,4 г. Для приготовления эмульсий полисахариды предварительно растворяли в необходимом количестве воды и выдерживали при температуре 5 °С в течение 12 ч до полного растворения. Затем в полученный раствор добавляли сухой белок и тщательно перемешивали для получения белок-полисахаридного комплекса. В полученную смесь добавляли масло и взбивали в течение 1 минуты с помощью гомогенизатора (MPW-302, Польша). Контрольный образец не содержал полисахариды семян льна.

Содержание белка определяли по ГОСТ 10846-91, влажность – по ГОСТ 10856-96, зольность – по ГОСТ 51411-99.

Значение pH 1 % растворов белка гороха и полисахаридов семян льна измеряли с помощью лабораторного иономеров И-160 МИ. При определении водоудерживающей способности (ВУС) готовили серию образцов с интервалом 0,5 г воды. В градуированные центрифужные пробирки помещали навеску и добавляли воду, перемешивали и выдерживали 30 минут при комнатной температуре. Затем пробирки центрифугировали при 2000 об/мин в течение 10 мин. За величину ВУС принимали максимальное количество добавляемой воды, при котором не наблюдалось выделение воды в процессе испытания. ВУС выражали в граммах воды на 1 г препарата. ЖУС определяли таким же образом, выражая в граммах масла на 1 г препарата.

Спектры поглощения горохового белка регистрировали на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ с помощью программы SC5400 в диапазоне длин волн 240–340 нм, шаг сканирования 0,1 нм. Измерения проводили в стандартной кварцевой кювете с длиной оптического пути 10 мм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Внешний вид белка гороха и полисахаридов семян льна представлен на рисунке 2. Оба компонента представляют собой мелкодисперсные порошки светло-кремового цвета. Для полисахаридов семян льна свойственен нейтральный запах, белковый изолят обладал характерным для гороха растительным запахом.

Результаты экспериментальной оценки характеристик белка гороха и полисахаридов семян льна представлены в таблице 1.

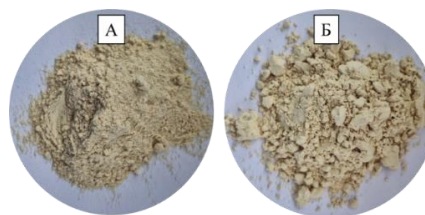


Рисунок 2 – Компоненты для создания эмульсий: А – Белок гороха; Б – Полисахариды семян льна

Figure 2 – Emulsion ingredients: A – Pea protein; B – Flaxseed polysaccharides

Таблица 1 – Физико-химические показатели изолята белка гороха и полисахаридов семян льна

Table 1 – Physico-chemical parameters of pea protein isolate and flax seed polysaccharides

Наименование характеристики	Показатель	
	Белок гороха	Полисахариды семян льна
Содержание белка в сухом продукте, %	85,0	7,5
Влажность продукта, %	4,5	6,5
pH 1% раствора	7,7	7,5
ВУС, г/г	2,5	15,0
ЖУС, г/г	0,8	1,0
Зольность, %	2,4	9,9

Значения pH 1% растворов этих продуктов близки к нейтральным, поэтому при получении пищевых систем они не влияют на органолептические показатели.

Показатели функциональных свойств (ВУС, ЖУС) характерны для этих видов пищевых добавок. Гидроколлоиды, к которым относятся полисахариды семян льна, характеризуются высокими значениями ВУС – 16–30 г воды/г полисахарида [15]. Значения показателей ВУС и ЖУС используемого изолята горохового белка коррелируют с данными авторов [16].

Содержание белковых фракций в белковом изоляте гороха, используемом в исследовании, представлено на рисунке 3.

В белковом комплексе гороха преобладают водо- и солерастворимые фракции: альбумины и глобулины. Их суммарное содержание превышает 80 %. Щелочерастворимые белки составляют не более 16 %.

На рисунке 4 представлен УФ спектр горохового белка. Пик поглощения при 260 нм подтверждает преобладающее содержание глобулиновой фракции в белковом комплексе гороха.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКА ГОРОХА С ПОЛИСАХАРИДАМИ СЕМЯН ЛЬНА В ЭМУЛЬСИЯХ «МАСЛО В ВОДЕ»

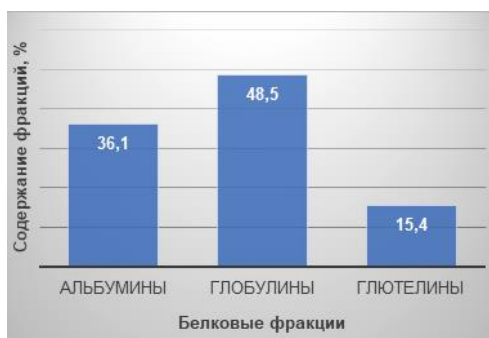


Рисунок 3 – Содержание белковых фракций в изоляте горохового белка

Figure 3 – Protein fractions content in the pea protein isolate

Полученные данные коррелируют с результатами спектрофотометрических исследований белковых фракций гороха различных сортов, представленных в работе [17], где показано, что глобулины гороха имеют пик поглощения в области 260 нм, в отличие от альбуминов с пиком поглощения при 280 нм и глютелинов с пиком поглощения 282 нм.

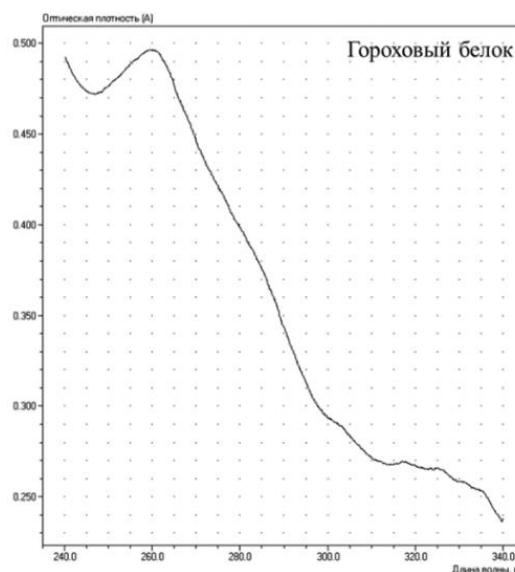


Рисунок 4 – УФ спектр поглощения горохового белка

Figure 4 – The UV absorption spectrum of the pea protein

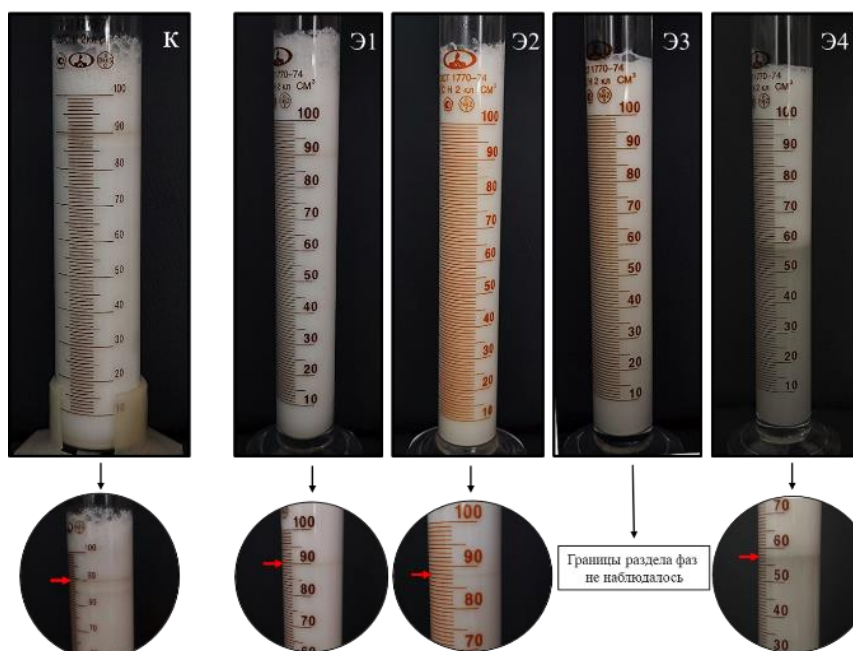


Рисунок 5 – Образцы эмульсий с изолятом горохового белка и полисахаридами семян льна: К – контрольный образец без полисахаридов семян льна;

Э1, Э2, Э3, Э4 – эмульсии с добавлением 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 г полисахаридов соответственно

Figure 5 – Samples of emulsions with pea protein isolate and flaxseed polysaccharides: K - control sample without flaxseed polysaccharides; E1, E2, E3, E4 - emulsions with the addition of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 g polysaccharides, respectively

Растительные белки, чаще всего соевый и в последние годы гороховый, используют для приготовления эмульсий «масло в воде». В диапазоне pH, близких к изоэлектрической точке белка, наблюдается дестабилизация эмульсий. Образование комплексов между растительными

белками и полисахаридами способствует стабильности эмульсий в широком диапазоне pH. При этом на результат белок – полисахаридных взаимодействий оказывает влияние множество факторов: соотношение биополимеров, их строение, pH, ионная сила, температура и пр. [18].

Были исследованы эмульсии с использованием горохового белка и разнообразными по своей природе полисахаридами в качестве стабилизаторов: ксантановая камедь, камедь тары, каррагинан, гуммиарабик, альгинат натрия. Показано, что гороховый белок при взаимодействии с различными полисахаридами может образовывать как растворимые комплексы, так и нерастворимые комплексы, перспективные в качестве заменителя жира [19–21].

В настоящей работе исследовали эмульсии с изолятом горохового белка и различным содержанием полисахаридов (ПС), выделенных из семян льна отечественной селекции. Содержание белка во всех образцах эмульсий не изменялось и составляло 1 г. Были приготовлены образцы эмульсий: контрольный (К) – без ПС; Э1 – 0,1 г ПС; Э2 – 0,2 г ПС; Э3 – 0,3 г ПС; Э4 – 0,4 г ПС. Соотношение белок : полисахарид в этих системах варьировало соответственно, как 10,0; 5,0; 3,3; 2,5.

Общий вид эмульсий и увеличенные фото образующейся границы раздела фаз представлены на рисунке 5.

Эмульсия сама по себе является нестабильной термодинамической системой. Две фазы стремятся разделиться, чтобы сформировать более стабильное состояние для минимизации свободной энергии. У контрольного образца в первые минуты после приготовления образовывался осадок на дне цилиндра, у образцов с добавлением полисахаридов такого не наблюдалось вне зависимости от их концентрации в составе. Образующийся мелкодисперсный осадок белого цвета, который можно видеть на дне цилиндра контрольного образца, свидетельствует об ограниченной растворимости горохового протеина в нейтральной среде [22].

В образцах Э1 и Э2 уже в первые минуты после приготовления образовывалась система из 2 фаз: полностью непрозрачной кремообразной фазы и мутного водного слоя. Подобная ситуация характерна, когда флокулирована только часть капель эмульсии (нефлокулированные капли образуют мутный водный слой, а флокулированные образуют кремообразный слой) [23].

Визуально, у всех образцов кроме Э3 (соотношение Б:ПС = 3,3) в первые минуты после приготовления появлялась граница раздела фаз, разделяющая эмульсии на нижний (водный) и верхний (кремообразный) слои. Этот процесс разделения фаз свидетельствует о нестабильности эмульсий. Увеличение содержания полисахаридов способствовало более быстрому расслоению системы, что иллюстрируют фото на рисунке 5.

У образца Э4 (соотношение Б:ПС = 2,5)

водная фракция была заметно светлее, чем у остальных образцов. Вероятно, из-за высокой концентрации полисахаридов начиналась флокуляция с образованием капель белок-полисахаридного комплекса, которые быстро сливались и поднимались вверх, образуя кремообразный слой [23].

Образец Э3 представлял собой однофазную однородную дисперсию, отличался от остальных отсутствием границы раздела фаз сразу после приготовления, поэтому был выбран для определения степени расслоения в течение 24 часов хранения (рисунок 6).

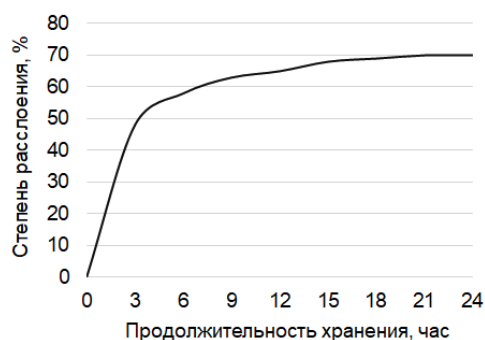


Рисунок 6 – Изменение степени расслоения образца Э3 при хранении в течение 24 часов

Figure 6 – Separation level change of the emulsion E3 within 24 hours storage

Как видно из графика на рисунке 6, расслоение эмульсии активно протекало в течение первых 3 часов хранения со степенью расслоения более 50 %, затем в районе 15 часов хранения степень расслоения достигла 70 % и в дальнейшем практически не изменялась. Таким образом, за 24 часа хранения степень расслоения образца Э3 составила 70 %. На 4-е сутки проведения эксперимента степень расслоения составила 75 %.

У образцов Э1 и К нижний слой оставался мутным в течение 4 суток хранения (рисунок 7), в остальных эмульсиях водный слой был полупрозрачным.

Для исследования межфазовой миграции белка при хранении выше указанных образцов эмульсий определяли его содержание в водном слое после 4 суток хранения (рисунок 8). Количество миграции белка в полностью непрозрачный кремообразный слой, то есть его адсорбцию на границу раздела фаз водно-жирового слоя рассчитывали по формуле:

$$AP = [(C_0 - C_s)/C_0] \cdot 100 \%,$$

где  $C_0$  – исходная концентрация белка в образцах эмульсий, мг/мл;  $C_s$  – концентрация белка в водной фазе, мг/мл.

На рисунке 8 представлена диаграмма с величиной AP в зависимости от количества ПС в образцах.



## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКА ГОРОХА С ПОЛИСАХАРИДАМИ СЕМЯН ЛЬНА В ЭМУЛЬСИЯХ «МАСЛО В ВОДЕ»

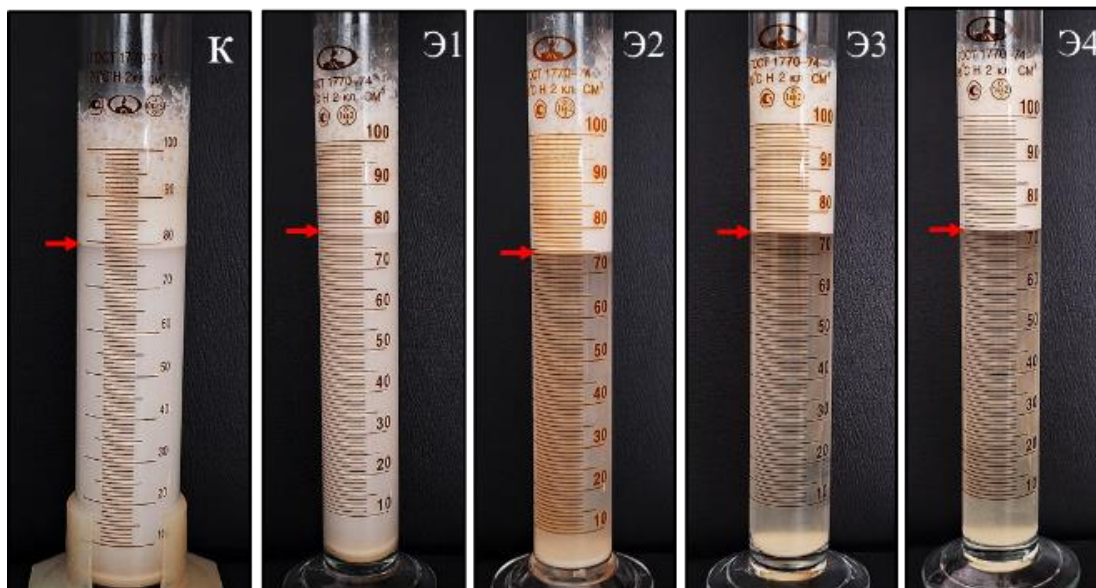


Рисунок 7 – Модельные образцы эмульсий после 4-х суток хранения

Figure 7 – Emulsion samples after 4 days of storage



Рисунок 8 – Межфазная миграция белка

Figure 8 – Interphase protein migration

Как следует из диаграммы на рисунке 8, содержание белка в водной фазе снижалось при увеличении концентрации полисахарида. Вероятно, полисахариды семян льна конкурируют с белком гороха в водной среде и способствуют агрегации белка. Также возможно, что ассоциация индивидуальных биополимеров (в данном случае белка) вызвана термодинамической несовместимостью между отрицательно заряженными группами аминокислот горохового белка и функциональными группами полисахаридов семян льна в нейтральной среде. Аналогичное фазовое поведение горохового белка в нейтральной среде наблюдали авторы [24] при добавлении в качестве анионного полисахарида карбометилцеллюлозу (КМЦ).

Продолжение исследований в этом направлении поможет расширить понимание

взаимодействий полисахаридов льна и белков в пищевых системах.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были определены физико-химические характеристики и функционально-технологические свойства изолята белка гороха и полисахаридов семян льна. Показатели функциональных свойств (ВУС, ЖУС) горохового белка и полисахаридов семян льна характерны для этих видов пищевых добавок (белков и гидроколлоидов). Методами химического и спектрофотометрического анализа показано преобладающее содержание глобулиновой фракции в белковом комплексе гороха.

При варьировании количества полисахаридов семян льна в модельных образцах эмульсий выявлено влияние соотношения белок / полисахарид на расслоение эмульсий при их приготовлении и хранении. Снижение содержания белка в водной фазе, вероятно, является результатом агрегации белка.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- McClements, D.J. & Jafari, S.M. (2018). Improving emulsion formation, stability and performance using mixed emulsifiers: A review. *Advances in colloid and interface science*, 251, 55-79. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.12.001>.
- McClements, D.J. (2004). Protein-stabilized emulsions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9 (5), 305-313.
- Kolpakova, V.V., Kulikov, D.S., Ulanova, R.V. & Chumikina, L.V. (2021). Food and feed protein preparations from peas and chickpeas: production, properties, application. *Equipment and technology of food production*, 51 (2), 333-348. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348>.
- Sridharan, S., Meinders, M., Bitter, J.H. & Nikiforidis, C.V. (2020). On the Emulsifying Properties of Self-Assembled Pea Protein Particles. *Langmuir*, 36(41), 12221-12229. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c01955>.

5. Burger, T.G. & Zhang, Y. (2019). Recent progress in the utilization of pea protein as an emulsifier for food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.007>.
6. Nooshkam, M., Varidi, M., Zareie, Z. & Alkobeisi, F. (2023). Behavior of protein-polysaccharide conjugate-stabilized food emulsions under various destabilization conditions. *Food Chemistry: X*, 18, 100725. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100725>.
7. Hu, Y.T., Ting, Y., Hu, J. & Hsieh, S. [et al.]. (2017). Techniques and methods to study functional characteristics of emulsion systems. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25 (1), 16-26.
8. Dickinson, E. (2009). Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 23 (6), 1473-1482. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.08.005>.
9. Dickinson, E. (2006). Colloid science of mixed ingredients. *Soft Matter*, 2(8), 642. <https://doi.org/10.1039/b605670a>.
10. Chanamai, R. & McClements, D.J. (2002). Comparison of gum arabic, modified starch, and whey protein isolate as emulsifiers: influence of pH, CaCl<sub>2</sub> and temperature. *Journal of Food Science*, 67(1), 120125. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11370.x>.
11. Liu, J., Shim, Y.Y., Poth, A.G. & Reaney, M.J.T. (2016). Conlinin in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) gum and its contribution to emulsification properties. *Food Hydrocolloids*, 52, 963-971. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.001>.
12. Liu, J., Shim, Y.Y., Tse, T.J., Wang, Y. & Reaney, M.J. (2018). Flaxseed gum a versatile natural hydrocolloid for food and non-food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 75, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.011>.
13. Zhou, W.W., Meng, L., Li, X., Ma, L. & Dai, R. (2010). Effect of the interaction between carrageenan, gellan gum and flaxseed gum on quality attributes of starch-free emulsion-type sausage. *Journal of Muscle Foods*, 21(2), 255-267.
14. Qian, K., Cui, S.W., Wu, Y. & Goff, H.D. (2012). Flaxseed gum from flaxseed hulls: Extraction, fractionation and characterization. *Food Hydrocolloids*, 28(2), 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.019>.
15. Lorenc, F., Jarošová, M., Bedniček, J., Smetana, P. & Bárta, J. (2022). Structural characterization and functional properties of flaxseed hydrocolloids and their application. *Foods*, 11(15), 2304. <https://doi.org/10.3390/foods11152304>.
16. Kapoor, R., Karabulut, G., Mundada, V. & Feng, H. (2024). Unraveling the potential of non-thermal ultrasonic contact drying for enhanced functional and structural attributes of pea protein isolates: A comparative study with spray and freeze-drying methods. *Food Chemistry*, 439, 138137. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138137>.
17. Chavan, U.D., McKenzie, D.B. & Shahidi, F. (2001). Protein classification of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.). *Food Chemistry*, 75(2), 145-153. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(01\)00122-4](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(01)00122-4).
18. Benichou, A., Aserin, A. & Garti, N. (2002). Protein-Polysaccharide interactions for stabilization of food emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 23(1-3), 93-123. <https://doi.org/10.1080/01932690208984192>.
19. Güldiken, B., Saffon, M., Nickerson, M.T. & Ghosh, S. (2023). Improving physical stability of pea protein-based emulsions near the isoelectric point via polysaccharide complexation. *Food Hydrocolloids*, 145, 109029. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109029>.
20. McCarthy, N.A., Kennedy, D., Hogan, S.A., Kelly, P.M., Thapa, K., Murphy, K.M. & Fenelon, M.A. (2016). Emulsification properties of pea protein isolate using homogenization, microfluidization and ultrasonication. *Food Research International*, 89, 415-421. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.07.024>.
21. Vélez-Eraza, E.M., Bosqui, K., Rabelo, R.S., Kurozawa, L.E. & Hubinger, M.D. (2020). High internal phase emulsions (HIPE) using pea protein and different polysaccharides as stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 105, 105775. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105775>.
22. Hinderink, E.B., Schröder, A., Sagis, L.M., Schroën, K. & Berton-Carabin, C. (2021). Physical and oxidative stability of food emulsions prepared with pea protein fractions. *LWT*, 146, 111424. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111424>.
23. McClements, D.J. (2007). Critical review of Techniques and methodologies for characterization of emulsion stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(7), 611-649. <https://doi.org/10.1080/10408390701289292>.
24. Yue, Y., Pang, S., Li, N., Tong, L., Wang, L., Fan, B., Li, C., Wang, F. & Liu, L. (2021). Interactions between Pea Protein Isolate and Carboxymethylcellulose in Neutral and Acid Aqueous Systems. *Foods*, 10(7), 1560. <https://doi.org/10.3390/foods10071560>.

#### Информация об авторах

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

В. И. Ущাপовский – младший научный сотрудник лаборатории Переработки лубяных культур ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур.

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

#### Information about the authors

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

V.I. Ushchapovskii - Junior researcher at the Laboratory of Processing of Bast Crops of the Federal Research Center for Bast Crops.

I.E. Minevich - Doctor of Technical Sciences, Chief scientific officer at the Laboratory of Processing of Bast Crops of the Federal Scientific Center for Bast Crops.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 22 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК634.11

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.004



## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХРАНЕНИЯ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ СОРТОВ АЛТАЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

Елена Сергеевна Троско <sup>1</sup>, Юлия Сергеевна Гунина <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> nord-hmel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2302-2160>

<sup>2</sup> jugunina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4955-1033>

**Аннотация.** На рынке Сибири представлены преимущественно сезонные яблоки и ограниченный импортируемый ассортимент мировых коммерческих сортов. Несмотря на то, что в помологическом описании присутствуют приблизительные сроки хранения плодов, подробные исследования особенностей сортоспецифичной лежкоспособности районированных сортов всегда актуальны. Основными параметрами, определяющими спрос на внесезонные яблоки, являются вкус и лёжкость. Цель исследования – изучить особенности и сроки хранения плодов яблони алтайской селекции. Задачи – изучить динамику товарных качеств яблок для уточнения сортоспецифичных сроков хранения, выявить взаимосвязи восприятия вкусовых качеств плодов. Исследования проведены в 2019–2022 гг. сотрудниками лаборатории селекции плодовых и ягодных культур ФГБНУ ФАНЦА. Плоды сортов Алтайское зимнее, Чупинское и Юбилейное Калининой собирали в 2019–2021 гг. на участках сортоизучения яблони и хранили при температуре 2 °С в обычной атмосфере. Количество ревизий – 4, начиная с двух месяцев хранения. Установлены максимальные сроки хранения без потери качества: для сорта Алтайское зимнее составляют 4–5 месяцев, для сорта Юбилейное Калининой 3–4 месяца, для сорта Чупинское – до 3-х месяцев. Выявлены корреляции между основными компонентами органолептической оценки яблок, а также зависимость качественных показателей от сроков хранения. Результаты позволяют говорить о перспективах товарного плодоводства на Алтае, увеличивая сезон потребления местных яблок до пяти месяцев.

**Ключевые слова:** яблоки, хранение, вкус, лёжкость, яблоня сибирского сортимента, динамика, корреляция, дегустационная оценка, органолептические качества, товарные качества, качественные потери при хранении, убыль массы.

**Для цитирования:** Троско Е. С., Гунина Ю. С. Некоторые особенности хранения плодов яблони сортов алтайской селекции // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 29–34. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.004, EDN:<https://elibrary.ru/NYGUTA>.

Original article

## SOME FEATURES OF THE STORAGE APPLE FRUITS FOR ALTAI BREEDING VARIETIES

Elena S. Trosko <sup>1</sup>, Yuliya S. Gunina <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> nord-hmel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2302-2160>

<sup>2</sup> jugunina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4955-1033>

**Abstract.** The range of apples represented on the Siberian market mostly includes seasonal kinds and a limited variety of imported commercial world varieties. Despite the fact that the pomological description contains approximate shelf life of fruits, detailed studies of the characteristics of the variety-specific keeping capacity of zoned varieties are always relevant. The main parameters determining the demand for off-season apples are taste and shelf life. The purpose of the study is to study the characteristics and experi-

© Троско Е. С., Гунина Ю. С., 2024



ry date of the fruits of the Altai apple tree breeding. The objectives are to study the dynamics of the commodity qualities of apples to clarify the variety-specific shelf life, to identify the interrelationships in the perception of the taste qualities of fruits. The research was carried out in 2019-2022 by employees of the laboratory of fruit and berry crop breeding of the FSBSI «Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnology». The fruits of the Altayskoyezimnee, Chupinskoye and JubileinoeKalininoy varieties were harvested in 2019-21 at the apple variety study sites and stored at a temperature of +2°C in a normal atmosphere. The number of revisions is 4, starting from two months of storage. Maximum shelf life without loss of quality has been established: for the Altayskoyezimnee variety, they are 4-5 months, for the Jubileynoe Kalininoy variety 3-4 months, for the Chupinskoye variety - up to 3 months. Correlations between the main components of the organoleptic evaluation of apples, as well as the dependence of qualitative indicators on shelf life, were revealed. The results allow us to talk about the prospects of commercial fruit growing in Altai, increasing the consumption season of local apples to five months.

**Keywords:** apples, storage, taste, shelf life, Siberian apple tree, dynamics, correlation, tasting assessment, organoleptic qualities, marketable qualities, storage losses, loss of mass.

**For citation:** Trosko, E.S. & Gunina, Yu.S. (2024). Some features of the storage of applefruits for Altai breedingvarieties. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 29-34. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.004. EDN: <https://elibrary.ru/NYGUTA>.

## ВВЕДЕНИЕ

На территории РФ основным видом плодов, потребляемых вне сезона, являются яблоки. Это обуславливается биологией яблони – наличие сортов разных сроков созревания (включая зимние, дозревающие в процессе хранения) позволяет потреблять плоды практически в течение всего года.

На рынке Сибири представлены либо сезонные яблоки (в летний и осенний период), либо ограниченный импортируемый ассортимент мировых коммерческих сортов, таких как Голденделишес, Айдаред, Гала, Фуджи и некоторые другие [1].

Местные плоды с точки зрения функционального питания предпочтительней для потребителя не только из-за короткого логистического плеча. Экспериментально доказано, что в процессе перевозки яблоки (помимо получения механических повреждений) быстрее перезревают, т.к. вибрация увеличивает экспрессию генов ферментов, связанных с биосинтезом этилена и частоту дыхания [2]. Таким образом, получение плодов максимально близко к месту потребления значительно повышает рентабельность вследствие уменьшения количественных и качественных потерь при перевозке. Необходимо учитывать и то, что яблоня в Сибири не подвержена большинству болезней, свойственных для южных зон плодоводства, таких как парша, бактериальный ожог, мучнистая роса, рак и т.д., и, как следствие, не требует многочисленных обработок препаратами [3, 4]. В целом, в условиях юга западной Сибири достаточно одной-двух обработок за вегетацию биологическими препаратами, что позволяет получать экологически чистую продукцию.

Несмотря на благоприятные, в отношении патогенов, условия, лимитирующим фактором для возделывания яблони в Сибири является зимостойкость, что исключает возможность выращивания в открытой форме инорайонных сортов с плодами зимнего срока созревания [5, 6]. Данная проблема решается селекционным методом: подбором районированных сортов, изучение лёжкости плодов, которых актуально получать в перспективе развития местного плодоводства.

В связи с особенностями генетики яблони сибирской селекции, настоящие «зимние» сорта, выращиваемые в открытой форме, в местном сортименте отсутствуют. Для потребления в зимний период используются сорта осеннего и позднеосеннего сроков созревания, плоды которых пригодны к длительному хранению (более трех месяцев). Несмотря на то, что в pomologическом описании обязательно присутствуют приблизительные сроки хранения плодов, подробные исследования особенностей сортоспецифичной лежкоспособности всегда актуальны. Основными параметрами, определяющими спрос на внесезонные яблоки и их рентабельность, являются вкус и лёжкость [7, 8, 9].

Вкус является комплексным субъективным восприятием. Оценка вкусовых качеств плодов состоит не только из собственно вкуса, но также из аромата и консистенции.

Лёжкость яблок – параметр сортоспецифичный, складывающийся из ряда факторов. С одной стороны, закладывая плоды на длительное хранение, мы рассчитываем на возможно меньшие потери и брак, с другой – сохранение и/или улучшение вкусовых качеств в процессе хранения.

Целью исследования на данном этапе

было изучение особенностей и сроков хранения плодов некоторых сортов яблони алтайской селекции. В соответствии с целью поставлена задача изучить динамику товарных качеств яблок для уточнения сортоспецифичных сроков хранения, а также некоторые взаимосвязи восприятия вкусовых качеств плодов.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

**Объекты исследований** – плоды яблони селекции ФГБНУ ФАНЦА (отдел НИИСС) осеннего срока созревания урожая 2019–2021 гг.

Плоды (*Malus × domestica* Borkh.) сортов Алтайское зимнее, Чупинское и Юбилейное Калининой собирали на участках сортоизучения яблони в период съёмной зрелости (первая декада сентября). Плоды без физических повреждений отбирали и хранили в холодильной камере Danfoss при температуре 2 °С в обычной атмосфере, относительная влажность воздуха 85 %. Количество плодов – 360 шт. (в 3-х кратной повторности по 10 плодов на повторность для каждого варианта). Количество ревизий – 4, начиная с двух месяцев хранения (соответственно 2, 3, 4 и 5 месяцев). Перед закладкой и при каждом съеме плодов проводили взвешивание и оценку здоровья плодов – наличие абсолютного и технического брака, увядание, пятнистость, гниль, загар. В общей сложности 9 плодов (из 3 повторностей отбирали по 3 плода каждого сорта) использовали для органолептической оценки. Органолептическую оценку проводили способом закрытой дегустации комиссией, состоящей из 10 человек согласно общепринятой методике [10]. Оценивался вкус (по 5-балльной шкале, где 5 – отличный вкус, а 1 – плоды не съедобны), аромат (сильный, слабый, отсутствует, неприятный), степень зрелости (4 – незрелые, 3 – оптимальная зрелость, 2 – начало перезревания, 1 – перезрелые), внешний вид (по 5-балльной шкале, где 5 – очень привлекательный, а 1 – видимые физиологические изменения) и сочность мякоти (сочная, слабосочная, мучнистая, пухлая).

В связи с особенностями органолептической и товарной оценки для вычисления коэффициента корреляции между параметрами использовали коэффициент ранговой корреляции  $\rho$ -Спирмена (на уровне значимости  $p < 0,01^{**}$ ,  $p < 0,05^*$ ). Для выявления достоверных различий признаков в зависимости от сроков хранения применялся метод дисперсионного анализа (ANOVA).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе хранения плоды подвергаются физиологическим изменениям, влияющим на восприятие их вкуса. Принято считать, что вкус яблок зависит от соотношения сахара и кислоты, выраженного в сахарокислотном индексе [11].

Наши исследования показали, что восприятие вкуса несколько сложнее, чем соотношение сахара и кислоты. Анализ результатов дегустаций показал наличие взаимосвязей восприятия вкуса с такими оценочными показателями, как «внешний вид», «состояние мякоти», «аромат» и «степень зрелости». Так, для сорта Алтайское зимнее выявлены положительные корреляции между вкусом и внешним видом ( $\rho=0,259^{**}$ ), сочностью мякоти ( $\rho=0,203^*$ ) и ароматичностью ( $\rho=0,238^*$ ). Сорта Чупинское и Юбилейное Калининой показали взаимосвязь (разной степени значимости) вкуса и прочих органолептических качеств: «внешний вид» ( $\rho=0,850^{**}$  и  $\rho=0,451^{**}$ ), «состояние мякоти» ( $\rho=0,642^{**}$  и  $\rho=0,379^{**}$ ), «аромат» ( $\rho=0,850^{**}$  и  $\rho=0,343^{**}$ ) и «степень зрелости» ( $\rho=0,693^{**}$  и  $\rho=0,317^{**}$ ).

Для сортов Алтайское зимнее и Чупинское выявлены умеренная и слабая корреляции между восприятием вкуса и сроками хранения ( $\rho=0,387^{**}$  и  $\rho=-0,210^*$  соответственно). Очевидно, что в процессе хранения вкус плодов сорта Алтайское зимнее улучшался в отличие от плодов сорта Чупинское. Изменение восприятия вкуса яблок сорта Юбилейное Калининой в процессе хранения выявлено не было.

Метод дисперсионного анализа (ANOVA) показал достоверные различия дегустационных оценок в процессе хранения плодов сорта Алтайское зимнее в восприятии степени зрелости ( $p=0,000$ ) и вкуса ( $p=0,001$ ), причем если вкус плодов равномерно улучшался, то степень зрелости показывает резкие изменения (рис. 1).

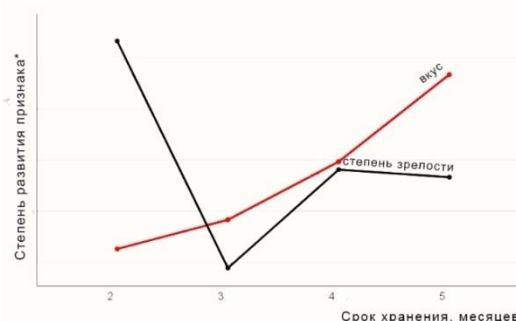


Рисунок 1 – Изменение органолептической оценки плодов сорта Алтайское зимнее (ANOVA)

Figure 1 –The change in the organoleptic evaluation of the fruits of the Altaiskoe zimnee variety (ANOVA)

\* В связи с различием единиц измерения признаков ось ординат не имеет шкалы и указыва-

ет на развитие признака, где показатели качества падают по мере приближения к оси абсцисс.

Это, вероятно, связано с тем, что в первый срок съема (2 месяца) плоды преимущественно оценивались как «недозрелые». Мякоть плодов сорта Чупинское (рис. 2) в процессе хранения теряла сочность – становилась сухой и мучнистой ( $p=0,002$ ), плоды перезревали ( $p=0,000$ ) уже с третьего месяца (состояние «начало перезревания»–«перезревание»).

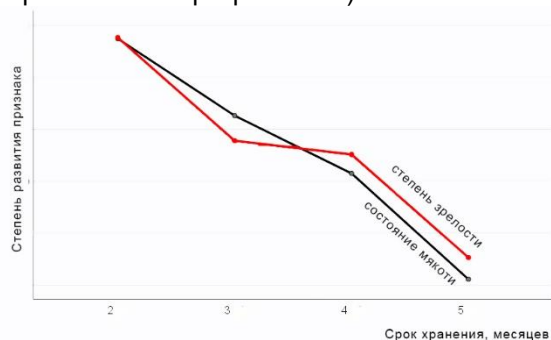


Рисунок 2 – Изменение органолептической оценки плодов сорта Чупинское (ANOVA)

Figure 2 – The change in the organoleptic evaluation of the fruits of the Chupinskoye variety (ANOVA)

У плодов сорта Юбилейное Калининой (рис. 3) в течение хранения ухудшался внешний вид ( $p=0,000$ ), они теряли сочность ( $p=0,000$ ) и к четвертому месяцу перезревали ( $p=0,000$ ).

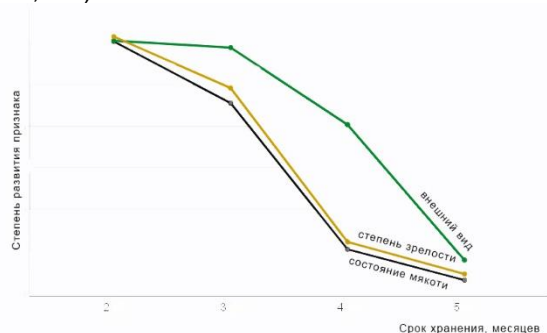


Рисунок 3 – Изменение органолептической оценки плодов сорта Юбилейное Калининой (ANOVA)

Figure 3 – The change in the organoleptic evaluation of the fruits of the Yubileynoye Kalinino variety (ANOVA)

Некоторые исследования международных коммерческих сортов [9] показывают, что мучнистость мякоти (рыхлая рассыпчатая структура) связана в восприятии дегустаторов с «несвежестью вкуса». По результатам проведённых нами дегустаций отмечено, что самая сильная связь по данным параметрам (состояние мякоти / вкус) свойственна плодам

сорта Чупинское. Для сортов Юбилейное Калининой и Алтайское зимнее также отмечены положительные корреляции, но выраженные на умеренном и слабом уровне соответственно.

Нельзя не отметить, что восприятие степени зрелости яблок сорта Алтайское зимнее к третьему месяцу хранения отмечалось как «начало перезревания», а в последующие – как «оптимальная зрелость». Т.к. не выявлено достоверных различий между мнениями дегустаторов, мы можем связать такое изменение восприятия степени зрелости к четвертому и пятому месяцам хранения с тем, что прочие сорта к этому сроку воспринимались как «перезревающие» и «перезревшие», на фоне которых плоды сорта Алтайское зимнее воспринимались как «оптимально зрелые».

В процессе хранения в плодах происходят не только биохимические, но и физиологические изменения. Так как лежкость яблок сортоспецифична, необходимы изучить и количественные потери – процент заложенных на хранение плодов, подвергающихся гнилям, увяданию, пятнистостям, определяет рентабельные сроки хранения в той же мере, что и изменение вкусовых качеств. В одних и тех же условиях разные сорта будут проявлять себя по-разному к одним и тем же срокам съема плодов с хранения. Изучение товарных качеств яблок необходимо для уточнения рекомендованных сроков хранения.

Данное исследование позволило выявить некоторые взаимосвязи показателей здоровья плодов в процессе хранения. Часть из них характерна для всех изучаемых сортов, в то время как какие-то – определено сортоспецифичны.

Сорт Алтайское зимнее показал умеренную отрицательную взаимосвязь массы закладываемых плодов с количеством гнили, возникающей при хранении ( $p= -0,419^*$ ), при этом для данного сорта корреляция между гнилями и сроками хранения не выявлена. Такой важный параметр, как естественная убыль массы умеренно коррелировал со сроками хранения ( $p=0,472^{**}$ ) и с проявляющейся «джонотановой» пятнистостью ( $p=0,373^*$ ). У сортов Чупинское и Юбилейное Калининой, напротив, сроки хранения коррелировали с различными признаками, такими как «увядание» ( $p=0,477^{**}$  и  $p=0,546^{**}$ ) и «гниль» ( $p=0,372^*$  и  $p=0,480^{**}$ ). Наличие пятнистости для этих сортов не было связано со сроками хранения, показывая корреляцию с увяданием ( $p=0,351^*$ ) для сорта Чупинское.

В процессе хранения часть признаков показала достоверные различия, в то время как динамика большинства признаков не за-

висела от сроков хранения. Сорт Алтайское зимнее показал изменения исключительно по массе плодов после хранения ( $p=0,013$ ). У сорта Чупинское выявлено как достоверное уменьшение количества здоровых плодов ( $p=0,003$ ), так и убыль массы ( $p=0,000$ ). Наибольшее количество признаков, зависящих от сроков хранения, выявлено у плодов сорта Юбилейное Калининой – такие показатели, как количество здоровых плодов ( $p=0,000$ ), увядших ( $p=0,004$ ), а также убыль массы ( $p=0,000$ ), достоверно менялись в процессе хранения.

Для сорта Юбилейное Калининой характерно обильное выделение воска (кожица становится «жирной» и блестящей) к четвёртому месяцу хранения, что указывает на перезревание плодов (кутикулярный воск снижает потери влаги, обладает защитными свойствами при поддержании чистоты поверхности кожицы). В это же время увеличивается количество увядших плодов. Вероятно, это связано с наследственной передачей признака (Феникс алтайский, являющийся отцовской формой сорта Юбилейное Калининой, также обладает этим свойством) или окраской (это больше свойственно «желтым» яблокам). У прочих сортов обильное выделение воска не отмечено.

Несмотря на то, что ряд исследователей указывает на нежелательность закладки на хранение крупных (относительно сортового признака) яблок как «наименее лежких», для сорта Алтайское зимнее отмечена лучшая сохранность по выборке средних и более крупных плодов.

Наши исследования позволяют утверждать, что, обладая знаниями о процессах, протекающих в заложенных на хранение плодах яблони районированного сортимента, можно говорить о перспективах товарного плодородства на Алтае, увеличивая сезон потребления местных яблок до пяти месяцев при правильном подборе сорта.

### ВЫВОДЫ

Выявлены высокие и умеренные корреляции между восприятием дегустаторами вкуса плодов сорта Чупинское и такими параметрами, как «внешний вид», «состояние мякоти», «аромат» и «степень зрелости». Плоды этого сорта созревали быстрее прочих, и постепенное ухудшение сопутствующих признаков достоверно влияло на восприятие вкусовых качеств. Для сорта Юбилейное Калининой взаимосвязь вкуса и других признаков оценивается как умеренная, при этом вкусовые качества не изменялись в процессе хранения.

Сорт Алтайское зимнее показал слабые

корреляции между восприятием вкуса и внешнего вида, состояния мякоти, аромата. В процессе хранения вкус плодов сорта Алтайское зимнее стабильно улучшался (возможно, на фоне прочих). Также отмечено, что лучшей сохранностью характеризовались более крупные плоды данного сорта.

Установлено, что максимальные сроки хранения без потери качества для сорта Алтайское зимнее составляют 4–5 месяцев, для сорта Юбилейное Калининой – 3–4 месяца и для сорта Чупинское – до 3-х месяцев.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Quantifying apple diversity: A phenomic characterization of Canada's Apple Biodiversity Collection / S. Watts, Z. Migicovsky, K.A. McClure [et al.] // *Plants, People, Planet*. 2021. № 3. P. 747–760. doi.org/10.1002/ppp3.10211.
2. Effect of vibration on storage quality and ethylene biosynthesis-related enzyme genes expression in harvested apple fruit / Fei Lu [et al.] // *Scientia Horticulturae*. 2019. Vol. 249. P. 1–6. doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.031.
3. Товарные показатели и сохраняемость плодов колонновидной яблони / Т.П. Грушева [и др.] // *Плодоводство*. 2020. № 32(1). С. 195–199.
4. Global analysis of the apple fruit microbiome: are all apples the same / A. Abdelfattah [et al.] // *Environ Microbiol*. 2021. № 23. P. 6038–6055. doi.org/10.1111/1462-2920.15469.
5. Братилова Н.П., Моксина Н.В., Репях М.В. Влияние сортовых особенностей яблонь, произрастающих в Ботаническом саду им. Вс. М. Крутовского, на сроки сбора плодов и длительность их хранения // *Вестник КрасГАУ*. 2012. № 6. С. 193–195.
6. Никитин А.Л., Макаркина М.А., Галашева А.М. Влияние температурного режима хранения на потери от функциональных расстройств и интенсивность поверхностного поражения плодов яблони загаром // *Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции*. 2023. № 1. С. 212–225. doi.org/10.36107/spfp.2023.338.
7. Cuticular wax composition changes of 10 apple cultivars during postharvest storage / Yifeng Chai [et al.] // *Food Chemistry*. 2020. Vol. 324. P. 1–7. doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126903.
8. Relationship between texture and pectin composition of two apple cultivars during storage / Ludivine Billy [et al.] // *Postharvest Biology and Technology*. 2008. Vol. 47, Issue 3. P. 315–324. doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.07.011.
9. Drivers of liking and value perception for a new apple cultivar in Italy / S. Rivaroli [et al.] // *Food Journal*. 2023. Vol. 125, № 13. P. 410–424. doi.org/10.1108/BFJ-10-2022-0865.
10. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общ. ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой. Орел : ВНИИСПК, 1999. 606 с.
11. Наумова Н.Л., Лукин А.А., Велисевич Е.А. Потребительские свойства и пищевая ценность

яблоко зимних сроков созревания // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 101–106. doi 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.013.

### Информация об авторах

Е. С. Троско – младший научный сотрудник Федерального Алтайского научно-го центра агробиотехнологий.

Ю. С. Гунина – младший научный сотрудник Федерального Алтайского научно-го центра агробиотехнологий.

### REFERENCES

1. Watts, S., Migicovsky, Z. & McClure, K.A. (2021). Quantifying apple diversity: A phenomic characterization of Canada's Apple Biodiversity Collection. *Plants, People, Planet*, (3), 747-760. doi.org/10.1002/ppp3.10211.
2. Lu, Fei, Xu, Fangxu, Li, Zhe, Liu, Yefei, Wang, Junwei & Zhang, Lei. (2019). Effect of vibration on storage quality and ethylene biosynthesis-related enzyme genes expression in harvested apple fruit. *Scientia Horticulturae*, (249), 1-6. doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.031.
3. Grusheva, T.P., Karanik, O.S., Levshunov, V.A. & Novik, G.A. (2020). Product characteristics and shelf life of columnar apple fruits. *Fruit growing*, 32 (1), 195-199. (In Russ.).
4. Abdelfattah, A., Freilich, S., Bartuv, R., Zhimo, V.Y., Kumar, A., Biasi, A., Salim, S., Feygenberg, O., Burchard, E., Dardick, C., Liu, J., Khan, A., Ellouze, W., Ali, S., Spadaro, D., Torres, R., Teixido, N., Ozkaya, O., Buehlmann, A., Vero, S., Mondino, P., Berg, G., Wisniewski, M. & Drobny, S. (2021). Global analysis of the apple fruit microbiome: are all apples the same. *Environ Microbiol*, (232), 6038-6055. doi.org/10.1111/1462-2920.15469.
5. Bratilova, N.P., Moksina, N.V. & Repyakh, M.V. (2012). The influence of varietal characteristics of apple trees growing in the Botanical Garden named after. Sun. M. Krutovsky, for the timing

of fruit collection and the duration of their storage. *Bulletin of KrasGAU*, (6), 193-195. (In Russ.).

6. Nikitin, A.L., Makarkina, M.A. & Galasheva, A.M. (2023). The influence of storage temperature on losses from functional disorders and the intensity of surface damage to apple fruits by tanning. *Storage and processing of agricultural raw materials*, (1), 212-225. (In Russ.). doi.org/10.36107/spfp.2023.338.

7. Chai, Yifeng, Li, Ang, Wai, Su Chit, Song, Congcong, Zhao, Yaoyao, Duan, Yuquan, Zhang, Baiqing & Lin, Qiong. (2020). Cuticular wax composition changes of 10 apple cultivars during postharvest storage. *Food Chemistry*, (324), 1-7. doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126903.

8. Billy, Ludivine, Mehinagic, Emira, Royer, Gaëlle, Renard, Catherine M.G.C., Arvisenet, Gaëlle, Prost, Carole & Jourjon, Frédérique. (2008). Relationship between texture and pectin composition of two apple cultivars during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), 315-324. doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.07.011.

9. Rivaroli, S., Spadoni, R., Tartarini, S., Gregori, R., Riedel, B., Draicchio, P., Folini, L., Altintzoglou, T. & Canavari, M. (2023). Drivers of liking and value perception for a new apple cultivar in Italy. *Food Journal*, 125 (13), 410-424. doi.org/10.1108/BFJ-10-2022-0865.

10. Sedov, E.N. & Ogol'cova, T.P. (Ed.). (1999). Program and methodology for studying varieties of fruit, berry and nut crops. Orel: VNIISPK. (In Russ.).

11. Naumova, N.L., Lukin, A.A. & Velisevich, E.A. (2023). Consumer properties and nutritional value of winter ripening apples. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 101-106. doi 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.013.

### Information about the authors

E.S. Trosko - Junior Researcher at the Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies.

Yu.S. Gunina - Junior Researcher at the Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 января 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 17 Jan 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК338.439

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.005



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Лариса Александровна Маюрникова <sup>1</sup>, Анастасия Александровна Дриль <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия  
nir30@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4592-8382>

<sup>2</sup> Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия  
drilnaska@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4114-4006>

**Аннотация.** Стратегия развития России на ближайшее будущее изложена в ряде доктринальных документах и включает разные аспекты жизнедеятельности общества. При этом практически во всех отражены задачи, направленные на формирование человеческого и интеллектуального капитала страны. Одним из обязательных составляющих обозначенного капитала является питание, как основной вклад в формирование здоровья человека. Это обуславливает важность вопросов, связанных с обеспечением продовольственной безопасности и продовольственной независимости при решении проблемы внутренних и внешних угроз национальной безопасности. Однако, как утверждают авторы многих научных статей, понятие «безопасность» имеет социально-философский аспект, в котором акценты расставляются с учетом этапа развития общества, сложившейся политической и социально-экономической ситуации и т.д. В этой связи представляет интерес рассмотреть термин «безопасность» как составляющую термина «продовольственная безопасность» во многих ее проявлениях в условиях инновационного развития АПК применительно к системе «Наука и образование – производство – рынок». Анализ и систематизация дефиниций «безопасность» показали широту и глубину вопроса обеспечения продовольственной безопасности, целесообразности совместного участия в решении этого вопроса ученых, производителей с привлечением потребителей пищевой продукции. Системный подход к решению проблемы вызывает необходимость подготовки кадров нового поколения, владеющих совокупностью знаний и умений в области обеспечения безопасности пищевой продукции на всех этапах: проектирование, производство, реализация, потребление.

**Ключевые слова:** стратегия развития, продовольственная безопасность, безопасность пищевой продукции, системный подход.

**Для цитирования:** Маюрникова Л. А., Дриль А. А. Обеспечение продовольственной безопасности как фактор устойчивого развития // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 35–43. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.005, EDN: <https://elibrary.ru/PMYMYC>.

Original article

## ENSURING FOOD SECURITY AS A FACTOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Larisa A. Mayurnikova <sup>1</sup>, Anastasiia A. Dril <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, Russia  
nir30@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4592-8382>

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia  
drilnaska@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4114-4006>

**Abstract.** The development strategy of Russia for the near future is set out in a number of doctrinal documents and includes various aspects of society. At the same time, almost all of them reflect tasks aimed at forming the country's human and intellectual capital. One of the mandatory components of the

© Маюрникова Л. А., Дриль А. А., 2024



*designated capital is nutrition, as the main contribution to the formation of human health. This determines the importance of issues related to ensuring food security and food independence when addressing the problem of internal and external threats to national security. However, as the authors of many scientific articles argue, the concept of "security" has a socio-philosophical aspect, in which the emphasis is placed taking into account the stage of development of society, the current political and socio-economic situation, etc. In this regard, it is of interest to consider the term "safety" as a component of the term "food security" in many of its manifestations in the conditions of innovative development of the agro-industrial complex in relation to the "Science and education - production - market" system. The analysis and systematization of the definitions of "safety" showed the breadth and depth of the issue of ensuring food security, the advisability of joint participation in resolving this issue by scientists and production workers with the involvement of food consumers. A systematic approach to solving the problem creates the need to train a new generation of personnel who have a set of knowledge and skills in the field of ensuring food safety at all stages: design, production, sales, consumption.*

**Keywords:** development strategy, food security, food safety, systematic approach.

**For citation:** Mayurnikova, L.A. & Dril, A.A. (2024). Ensuring food security as a factor of sustainable development. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 35-43. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.005. EDN: <https://elibrary.ru/PMYMYC>.

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие нестабильная политическая ситуация способствовала формированию нового глобального продовольственного сценария и, как следствие, кризиса общественного здравоохранения. В этой связи целесообразно и необходимо рассматривать продовольственную безопасность всех стран мира в рамках ФАО/ВОЗ и в отдельно взятом государстве на новых основаниях в рамках новой парадигмы.

В России проблема продовольственной безопасности впервые возникла на рубеже XX и XXI вв. в период коренных изменений в экономике и потерей продовольственной независимости. В 1996 г. был принят проект Федерального закона «О продовольственной безопасности Российской Федерации», однако он так и остался проектом, и до настоящего времени в стране фактически нет такого закона.

Тенденция ухудшения ситуации с обеспечением населения продовольствием оказалась чрезвычайной, в результате в 2010 г. указом Президента РФ была принята «Доктрина продовольственной безопасности» до 2020 г. Новым в принятом варианте явилось понятие продовольственной безопасности как состояние социально-экономического развития страны, при котором обеспечивается продовольственная независимость РФ, гарантируется физическая и экономическая доступность для каждого гражданина страны пищевой продукции, соответствующей обязательным требованиям, в объемах не менее рациональных норм потребления пищевой продукции, необходимой для активного и здорового образа жизни [1]. Данный документ носил в большей степени концептуальный и декларативный характер, формирующий основные положения

государственной продовольственной политики.

Доктрина 2020 г. – это совокупность официальных взглядов на цели, задачи и механизмы их реализации в достижении продовольственной безопасности России. Согласно Доктрине продовольственной безопасности, в качестве основных индикаторов используется достижение пороговых значений, в частности, по показателям экономической и физической доступности:

- экономическая доступность продовольствия – соотношение фактического потребления основной пищевой продукции на душу населения к рациональным нормам ее потребления, отвечающим требованиям здорового питания (пороговое значение – 100 %);

- физическая доступность – отношение фактического обеспечения населения разными видами торговых объектов по продаже продуктов питания к нормативам, установленным правительством.

- соответствие пищевой продукции требованиям законодательства ЕАЭС – удельный вес всех проб продуктов, не соответствующих обязательным требованиям, в общем объеме исследований проб пищевой продукции.

Наряду с задачей обеспечения населения продовольствием отечественного производства, учитывая физическую и экономическую доступность, данный документ предполагает обеспечение соответствующими ресурсами, потенциалом и гарантиями без уменьшения государственного продовольственного резерва независимо от внешних и внутренних факторов [2].

Отличительной особенностью Доктрины 2020 г. является *устойчивое развитие отечественного производства продовольствия и сырья*, достаточное для обеспечения продо-



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

вольственной независимости страны; обеспечение безопасности пищевых продуктов.

Устойчивое развитие (англ. *Sustainable development*) – процесс изменений, в котором эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и направлены на укрепление нынешнего и будущего потенциалов для повышения качества жизни человека [3].

Основные аспекты устойчивого развития: экономический, социальный и экологический:

- экономический аспект в концепции подразумевает оптимальное использование природных, энерго-, и материально-сберегающих технологий;

- социальный подход заключается в ориентации на человека, стабильность социальных и культурных систем, сокращение непримиримых конфликтов между людьми;

- экологический – обеспечение целостности биологических и физических систем; развитие и рост биологического разнообразия, способствующее самовосстановлению экологической системы.

Анализ научно-технической литературы выявил неоднозначность применения разными авторами терминов «доктрина» и «парадигма», которые зачастую широко используются в текстах доктринальных документов: Стратегии развития, Доктрины и т.д.

Так, Большой энциклопедический словарь трактует эти термины следующим образом:

- ДОКТРИНА (фр. doctrine, лат. doctrina) – учение, научная или философская теория; система, руководящий теоретический или политический принцип.

- ПАРАДИГМА (греч. paradeigma – пример, образец) – в философии, социологии – исходная концептуальная схема, модель постановки проблем и их решения, методов исследования, господствующих в течение определенного исторического периода в научном сообществе.

В более широком понимании, парадигма – понятие, означающее особый способ организации научного знания, формирующий то или иное видение «мира» и соответственно модели постановки задач и методов их решения. В каждом конкретном случае под «миром» понимают любой сложный технический объект/систему: государство, наука, конкретная область знаний, отрасль промышленности и т.п. Парадигмальный подход в гуманитарных и социальных науках – один из самых распространенных методов познания. Научная парадигма – это принятый научным сообществом свод правил (принципов) и утверждений.

*POLZUNOVSKIY VESTNIK № 4 2024*

Президент РФ В.В. Путин на пленарной сессии XVIII заседания Международного клуба «Валдай» отметил: «...Современная модель капитализма исчерпала себя как экономическая система. <...> Мы будем руководствоваться идеологией здорового консерватизма» [4]. Иными словами, рыночная экономика исчерпала себя как в теории, так и на практике. Рыночная парадигма экономической теории устарела и должна быть заменена новой.

К общепринятым парадигмам относятся образцовый метод принятия решений, модели мира или его частей (отраслей, областей знаний, сфер жизни и деятельности), принимаемые большим количеством людей. При этом коренные изменения, происходящие практически во всех сферах жизнедеятельности в России, обусловленные не только изменением политической ситуации в международной плоскости, но и активным развитием науки и техники, вызывают как следствие, пересмотра или разработки новой парадигмы развития. Например, в настоящее время в научной среде обсуждается вопрос смены парадигмы образования, в частности инженерного образования.

В рамках работы Евразийского и других центров по продовольственной безопасности рассматриваются вопросы трансформации системы питания как на глобальном, так и на национальном уровнях. Основанием тому служат в том числе обобщение и систематизация результатов всех направлений науки о питании: от химии, биологии, молекул и клеток до глобальных геополитических процессов, связанных, например, с недостатком питания или его безопасностью. Благодаря исследованиям в области нутрициологии происходит накопление новых научных знаний, которые являются мотивацией для эволюционного изменения классической парадигмы питания.

Питание является одним из важнейших факторов формирования человеческого и интеллектуального капитала, являющегося базой для развития общества. В этой связи представляет интерес рассмотреть состояние дел и перспективы развития отраслей, обеспечивающих организацию, производство и реализацию пищевой продукции с позиции устойчивого развития. АПК – агропромышленный комплекс, основная задача которого – формирование продовольственной безопасности и продовольственной независимости страны через обеспечение населения страны продовольствием, что, как отмечалось ранее, закреплено в ряде доктринальных документах РФ.

Целью исследований является анализ

«продовольственной безопасности» как сложной технической системы, ключевым элементом которой является «безопасность» и установление связей вариации этого элемента в условиях инновационного развития АПК в закономерности инновационного цикла: «Наука и образование – производство – рынок».

### МЕТОДЫ

Поиск информации по теме исследования проводили при помощи изучения нормативных и литературных источников через систему «Гарант», поисковую систему научных публикаций «Google Scholar» и научную электронную библиотеку «Elibrary.ru» по ключевым словам. Для поиска информации были рассмотрены публикации за последние 10 лет (2014–2024 гг.). Более ранние работы изучали с целью более объемного понимания темы исследований и отсутствия новой информации по определенным моментам темы исследования.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В программе «2020–2030: Десятилетие действий для Целей устойчивого развития (ЦУР) в России», в области устойчивого развития пищевой промышленности и общественного питания критически важно создание системы безопасности сырья, полуфабрикатов и готовой продукции [5].

В статье «Анализ дефиниции термина «безопасность», авторы показывают, что смысловой аспект термина – *отсутствие опасности* [6], независимо от разнообразия терминов, описанных в словарях с учетом специфики отраслей жизнедеятельности [7].

Критический анализ ключевых моментов Доктрины продовольственной безопасности РФ свидетельствует о целесообразности рассмотрения подходов к трактовке и сущности термина «безопасность», их взаимосвязь и целостность восприятия. Представляет интерес рассмотреть этот вопрос в системе, элементы которой имеют прямо отношение к «процессу обеспечения населения продовольствием». Зарубежный опыт системного подхода к инновационному развитию отраслей/государства строился на взаимодействии государства (власть), науки и бизнеса. В теории и практике инновационного развития США и Европы – это так называемая модель «тройной спирали». Научно-технологическое развитие зарубежных стран привело к некой трансформации модели и более четкого понимания и восприятия элементов модели «Наука – университет» [8].

Адаптация модели к условиям, при которых происходит инновационное развитие России в целом и различных сфер жизнедеятельности в

частности, позволило придать ей вид «Наука и образование – производство – рынок». Это обусловлено тем, что задача современного университета – подготовка высококвалифицированного специалиста, способного ставить и решать научно-производственные задачи на основе последних достижений науки и техники. Необходимо отметить, что инновационное развитие в условиях экономики знаний выступает как новая парадигма развития отраслей промышленности, в том числе отраслей АПК [9].

В таблице 1 представлены определения термина «безопасность» как составляющих термина «продовольственная безопасность» в рамках структурных элементов системы «Наука и образование – производство – рынок».

На уровне *государства* продовольственная безопасность является всеобъемлющим термином, весомость которому придает то, что, по сути, он стоит на уровне с национальной безопасностью. Это объясняет наличие в РФ политики государства в области развития отраслей, обеспечивающих продовольственную безопасность. Политика государства в конкретной области включает в себя ключевые моменты: разработку законодательной и нормативной базы, стратегий развития; организационную и финансовую поддержку развития; контроль и надзор за исполнением законодательства.

В ТР/ТС 021/2011 безопасность пищевой продукции трактуется как состояние, свидетельствующее об отсутствии недопустимого риска, связанного с вредным воздействием на человека и будущие поколения. Перечень регламентирующих показателей безопасности продовольственного сырья и готовой пищевой продукции (в т.ч. и продукции общественного питания) изложен в приложениях к данному нормативному документу.

В Федеральном законе «О качестве и безопасности пищевых продуктов» говорится, что «качество и безопасность пищевых продуктов, материалов и изделий обеспечиваются посредством применения мер государственного регулирования в области обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов, материалов и изделий, в том числе осуществления государственного надзора в области обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов, материалов и изделий».

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ФАКТОР  
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

Таблица 1 – Определения термина «безопасность» как составляющих термина «продовольственная безопасность»

Table 1 – Definitions of “security” term as components of the “food security” term

Элементы системы	Сущность и толкование термина «безопасность» применительно к продовольственной безопасности
Государство	<ul style="list-style-type: none"> <li>– продовольственная безопасность (ПБ);</li> <li>– ПБ, как составляющая национальной безопасности;</li> <li>– ПБ как составляющая экономической безопасности;</li> <li>– политика государства в области развития отраслей, обеспечивающих ПБ (законодательная, нормативная база, инновационное развитие, импортозамещение);</li> <li>– государственная поддержка науки и производства в области обеспечения ПБ страны;</li> <li>– государственный контроль за качеством и безопасностью продовольственного сырья и пищевой продукции</li> </ul>
Наука и образование	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ существующего состояния и переход в желаемое путем разработки парадигмы (концепции) ПБ;</li> <li>– критические технологии, обеспечивающие ПБ (конвергентные технологии и др.);</li> <li>– подготовка кадров по направлениям, осуществляющим обеспечение безопасности сырья, материалов, производства;</li> <li>– научные исследования в области выявления, идентификации и нормирования опасных для человека загрязнителей (с применением цифровизации, искусственного интеллекта и др.), издание и тиражирование результатов;</li> <li>– поиск новых нетрадиционных безопасных источников сырья с учетом истощения природных ресурсов</li> </ul>
Производство/рынок	<ul style="list-style-type: none"> <li>– экологическая безопасность (пищевые предприятия и предприятия общественного питания – источники загрязнения окружающей среды);</li> <li>– безопасность на этапах товародвижения (логистика «от фермы до стола»);</li> <li>– системы безопасности производств (НАССР, DMP и др.);</li> <li>– безопасность продуктов питания с точки зрения соответствия НД</li> </ul>
Рынок/потребитель	<ul style="list-style-type: none"> <li>– безопасность потребления продуктов питания (количественная, качественная);</li> <li>– безопасность питания, обеспечивающая здоровье (физическая и экономическая доступность, пищевая и энергетическая ценность, соответствие нормам потребления);</li> <li>– безопасность питания индивида (персонализированное питание)</li> </ul>

Согласно Положению о государственном надзоре в области обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов Государственный надзор включает в себя:

- организацию и проведение проверок соблюдения юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями и гражданами требований международных договоров РФ, законодательства РФ в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, ветеринарии, качества и безопасности пищевых продуктов, техниче-

ского регулирования и защиты прав потребителей, в том числе путем;

- проведения экспертизы продукции (санитарно-эпидемиологической, токсикологической, ветеринарно-санитарной, товароведческой и др.), проектов нормативных и технических документов, по которым предполагается осуществлять (или осуществляется) изготовление продукции (в т.ч. новой);

- выполнением правил продажи отдельных видов товаров и правил оказания услуг в сфере общественного питания [10].

Регулирование качества и безопасности пищевой продукции в РФ обеспечивается выполнением требований Федеральных законов: «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения РФ», «О качестве и безопасности пищевых продуктов», «О защите прав потребителей», «О ветеринарии» и др. Действующая в РФ система надзора, в соответствии с требованиями технических регламентов Таможенного союза, направлена, в первую очередь, на обеспечение безопасности при их контаминации патогенными, условно-патогенными микроорганизмами и загрязнителями химического и биологического происхождения [11].

Среди множества вопросов, связанных с безопасностью пищевой продукции, обусловленной загрязнением контаминантами различной природы, актуальной является проблема фальсификации [12].

В Законе «О качестве и безопасности пищевых продуктов» дается определение фальсифицированным пищевым продуктам, смысл которого заключается в том, что это умышленно измененные продукты, производимые и реализуемые с целью получения незаконной прибыли.

Наиболее действенными мерами в борьбе с фальсификацией являются системы ИСО 9000 и ХАССП. Процедура идентификации на этапе проведения экспертизы продуктов также является одним из инструментов выявления фальсификации. В этом отношении имеются определенные сложности, а именно в подготовке специалистов – экспертов, специалистов – товароведов, специалистов технологов пищевых отраслей и общественного питания с высоким уровнем знаний и умений в проведении товароведной экспертизы пищевой продукции.

К контексту рассмотрения положений новой парадигмы образования в России обсуждаются предлагаемые в научном сообществе модели университетов, в частности варианты университета 4.0. Так, все большее количество ученых и экспертов склоняются к тому, что в ближайшем будущем человечество столкнется с кардинальной сменой экономического и общественного уклада, для новой экономики потребуются специалисты нового типа. Современное общество характеризуется следующими парадигмами: ситуация неопределенности, цифровизация, автоматизация, устойчивое развитие и кризисы, угрожающие обществу, среди которых – климатическая катастрофа и риск вымирания человечества. Данные современные реалии способствуют формированию VUCA-мира (нестабильность – volatility, неопределенность – uncertainty, сложность – complexity и

неоднозначность – ambiguity), что, в свою очередь, требует развития определенных компетенций. Эффективная работа в ситуации неопределенности предполагает преадаптивное развитие – умение предвидеть будущие кризисы и способность подготовиться к ним. Обозначенная ситуация свидетельствует о том, что новая парадигма образования должна коснуться одновременно как преподавателя высшей школы, так и специалиста «на выходе из стен университета». Поэтому для формирования желаемого профессионального поведения преподавателей и будущих специалистов необходимо развитие современных компетенций и «правильного» мышления – набора взглядов, мировоззрений и привычек [13].

При подготовке специалистов в систему АПК целесообразно строить процесс в предположенной системе инновационного развития «Наука и образование – производство – рынок», освоение которого позволит молодому человеку в своей профессии не только применять имеющиеся современные достижения науки и техники, но разрабатывать новшества в виде проектов «от идеи до потребителя». Управлять качеством и безопасностью новых разрабатываемых объектов и систем на всех этапах проектирования; применять для этой цели современные системы качества и безопасности ХАССП (англ. HACCP – Hazard Analysis and Critical Control Points – анализ рисков и критические контрольные точки), GMP (Good Manufacturing Practice, Надлежащая производственная практика), GLOBAL-GAP – международный стандарт для производителей сельскохозяйственной продукции и др.

Необходимо повысить роль научных исследований в области разработки новых технологий производства продовольственного сырья и готовой продукции: нанотехнологии, генной инженерии, для которых безопасность – основной критерий, так как есть потенциальная опасность негативного воздействия на здоровье будущих поколений (мутагенные свойства).

В связи с тем, что основной жизнедеятельности человека является получение с рационом научно-обоснованного набора пищевых веществ, что обеспечивается широким набором продуктов питания из разных однородных групп, на всей территории России функционируют предприятия пищевой промышленности и общественного питания.

Рассматривая вклад производства пищевой продукции как промежуточный этап между проектированием и разработкой новшеств в сфере питания (университет) и рынком, необхо-

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

димо говорить об обеспечении уровня *безопасного производства* (экологичности).

На сегодняшний день в современном научном и философском знании сложилась тенденция в понимании «эко» как того, что противостоит, отрицает «техно». Экологичность и экологическое поведение – категории междисциплинарной области исследований. Экологичность относительно продовольственной безопасности и/или безопасности производства пищевой продукции и/или экологичности непосредственно пищевых продуктов – это звенья одной цепи.

При решении вопросов экологичности производства пищевой продукции и продукции общественного питания руководствуются ФЗ О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты РФ (26.03.2022); Постановление Правительства «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» (№ 158 от 23.12.014). Последний документ разработан для формирования справочника по наилучшим доступным технологиям, обеспечивающий в том числе экологическую безопасность. В качестве основных критериев, по которым технологии относятся к наилучшим, относятся:

- наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), предусмотренным международными договорами Российской Федерации;
- экономическая эффективность внедрения и эксплуатации;
- применение ресурсо- и энергосберегающих методов.

По степени интенсивности отрицательного воздействия предприятий пищевой промышленности и общественного питания на объекты окружающей среды первое место занимают водные ресурсы. По расходу воды на единицу выпускаемой продукции пищевая промышленность занимает одно из первых мест среди промышленных отраслей. Высокий расход воды на единицу выпускаемой продукции в производстве продуктов питания обусловлен тем, что большое количество воды используется для технологических целей. В свою очередь, такой уровень потребления воды обуславливает достаточно большой объем образования сточных вод на предприятиях.

Проблема охраны атмосферного воздуха для пищевых предприятий также актуаль-

на, хотя пищевая промышленность не относится к основным загрязнителям атмосферы. В то же время в атмосферу при производстве продуктов питания (по данным Росприроднадзора) выбрасываются органическая пыль, двуокись углерода (CO<sub>2</sub>), бензин и другие углеводороды, выбросы от сжигания топлива. Многие технологические процессы сопровождаются образованием и выделением пыли в окружающую среду (хлебозаводы, мукомольные и крахмалопаточные предприятия и др.). Пыль в смеси с воздухом дает пожаро- и взрывоопасные смеси. Не менее значимой проблемой для пищевой промышленности является образование отходов. В отдельных отраслях пищевой промышленности объем твердых отходов может быть весьма значительным (консервная промышленность, сахарная промышленность, предприятия общественного питания). В целом, когда речь идет об экологичности производства пищевой продукции, рассматриваются вопросы технологического воздействия, т.е. воздействия на окружающую среду, возникающие на различных этапах производства продукции.

Что касается экологичности пищевой продукции как потребительского свойства, то это способность товаров оказывать воздействие на окружающую среду, степень которого определяется экологическими показателями – количественной и качественной характеристиками. Экологичность должна закладываться на этапах проектирования в системе товародвижения «от сырья до реализации, потребления и утилизации» при разработке новых продуктов питания. Задача производства: строго следовать требованиям пунктов нормативной, технической и/или технологической документации, задача рынка: обеспечить уровень безопасности продукции на этапах транспортировки, хранения и реализации.

Отличительная черта продовольственного рынка «советского» периода от современного – широта и глубина ассортимента, обусловленные применением традиционных видов сырья и новых нетрадиционных, а также их комбинацией; новыми технологиями.

Потребитель является конечным звеном в этой цепочке, и все цели отдельно взятых участников системы как совокупности направлены на достижение удовлетворения индивида в иерархии его потребностей. Сложность заключается в том, что данный вид удовлетворенности должен рассматриваться в системах «человек – товар» и «человек – человек». Низкий уровень знаний населения о правильном питании зачастую

не позволяет достигать поставленной цели других участников системы: государство, университет, производство, рынок. Совокупность результатов, достигнутых в соответствии с требованиями законов, нормативных документов, научных и профессиональных принципов обозначенных участников не является гарантией обеспечения населения безопасным питанием с точки зрения отдельно взятого индивида. Причиной тому служат как объективные, так и субъективные факторы:

– низкий уровень прожиточного минимума; наличие генетически обусловленных алиментарных заболеваний; удаленность от крупных торговых центров; религиозные и национальные традиции; сложная технологическая переработка продовольственного сырья, приводящая к снижению пищевой ценности готовой продукции;

– низкий уровень знаний, приверженность к определенной концепции питания (не всегда научно-обоснованной); мода на экзотические (эксклюзивные) продукты питания, подчеркивающие исключительность человека; экономическая свобода при выборе продуктов питания.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, обеспечение продовольственной безопасности России в современных условиях развития общества – сложная многоаспектная задача. Для успешной ее реализации должна быть создана комплексная система питания, построенная на основе мониторинга и оценки.

В РФ функционирует мониторинг качества и безопасности пищевой продукции, задачей которого является изучение состояния здоровья населения в связи с состоянием питания (эпидемиология питания). Однако показатели результативности такого подхода не дают оценки с точки зрения экономического бремени, измеряемого общими прямыми и косвенными затратами, понесенными государством в связи с заболеваемостью неинфекционными хроническими болезнями (НИХЗ).

Для этой цели можно использовать опыт других стран мира. Так, внимания для оценки продовольственной безопасности заслуживает индекс глобальной продовольственной безопасности (ИГПБ) (The Global Food Security Index), разработанный экспертами The Economist Group. ИГПБ, по сравнению с методикой ФАО, является более комплексным показателем для оценки доступности и качества продовольствия, который рассчитывается по 113 странам мира в балльной системе [14].

Набор показателей ИГПБ объединяется в

четыре группы: доступность, наличие, качество и безопасность, устойчивость и адаптация.

Индикаторы группы «доступность» (affordability) позволяют оценить возможности населения приобретать продукты питания, анализируют их устойчивость к колебаниям цен, а также наличие социальных программ поддержки слабозащищенных слоев населения в условиях экономического спада. Показатели категории «наличие» (availability) характеризуют возможности экономики государства обеспечить население продуктами питания, транспортные риски в поставках продовольствия, а также направления инновационного развития агропродовольственного сектора. Категория «качество и безопасность» (qualityandsafety) позволяет измерить энергетическую ценность рациона питания, а также качество пищевых товаров. В свою очередь, введение категории «устойчивость и адаптация» дает возможность определить неустойчивость экономики страны к влиянию природных катаклизмов и возможности приспособления к различным рискам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ от 30 января 2010 г. № 120 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12072719/> (дата обращения: 16.07.2024).
2. Власов В.А., Жихулина А.С., Рахвалова Н.А. Доктрина продовольственной безопасности 2010 года по сравнению с доктриной продовольственной безопасности 2020 года // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. № 12-3 (51). С. 71–75. DOI: 10.24411/2500-1000-2020-11442.
3. Левина Е.И. Понятие «устойчивое развитие». Основные положения концепции // Вестник Тамбовского университета. Серия: гуманитарные науки. 2009. № 11 (79). С. 113–119.
4. Орлов А.И. Современный капитализм исчерпал себя: о новой парадигме экономической науки // Россия: тенденции и перспективы развития : материалы XXI Национальной научной конференции с международным участием. Вып. 17, ч. 1. Москва, 2022. С. 848–852.
5. 2020–2030: Десятилетие действий для ЦУР в России. Вызовы и решения. Москва, 2020. 142 с.
6. Чикунова И.А., Сербиновская Н.В. Анализ дефиниции термина «безопасность» // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2021, Т. 7, № 1. С. 53–59.
7. Ковзунова Е.С. Подходы к трактовке понятия «Продовольственная безопасность»: анализ отечественного и зарубежного опыта // Менеджмент социальных и экономических систем. 2019. №2. С. 22–28.
8. Бабкина Е.В., Сергеев В.А. Тройная спираль инновационного развития: опыт США и Европы, возможности для России // Инновации. 2011. № 12 (158). С. 68–78.
9. Новоселов С.В., Маюрникова Л.А. Теоретическая инноватика: научно-инновационная деятель-

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

ность и управление инновациями: учеб. пособие. Санкт-Петербург : ГИОРД, 2017. 416 с.

10. Положение о государственном надзоре в области использования и охраны водных объектов (утв. постановлением Правительства РФ от 05.06.2013 № 476). – URL: <https://base.garant.ru/70394016/> (дата обращения: 16.07.2024).

11. Новые международные инициативы в создании систем эффективного прогнозирования рисков и обеспечения безопасности пищевых продуктов / Н.Р. Ефимочкина [и др.] // Вопросы питания. 2016. Т. 85, № 2. С. 92–103.

12. Петров А.Н., Ханферьян Р.А., Галстян А.Г. Актуальные аспекты противодействия фальсификации пищевых продуктов // Вопросы питания. 2016. Т. 85, № 5. С. 86–93.

13. Баканова И.Г., Капустина Л.В. Парадигмы современного общества как вызов компетенциям преподавателя высшей школы XXI века // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2022. № 7. С. 42–55. DOI: 10.24412/2304-120X-2022-11053.

14. Иванова А.А. Анализ методологических подходов к оценке продовольственной безопасности // Продовольственная политика и безопасность, 2024. Т. 11, № 2. С. 229–244. DOI: 10.18334/ppib.11.2.121114.

### Информация об авторах

*Л. А. Маюрникова – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии и организации общественного питания ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».*

*А. А. Дриль – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации пищевых производств ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».*

### REFERENCES

1. Decree of the President of the Russian Federation of January 30, 2010 No. 120 "On approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation". Retrieved from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12072719/> (In Russ.).

2. Vlasov, V.A., Zhikulina, A.S. & Rahvalova, N.A. (2020). Food Security Doctrine 2010 compared to Food Security Doctrine 2020. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, (12-3 (51)), 71-75. (In Russ.). DOI: 10.24411/2500-1000-2020-11442.

3. Levina, E.I. (2009). *Sustainable development notion. The main provisions of conception. Tambov University Review. Series: Humanities*, (11(79)), 113-119. (In Russ.).

4. Orlov, I.A. (2022). Modern capitalism has exhausted itself: about a new economic science paradigm. *Proceedings of 21-st National Scientific Conference with International Participation «Russia: Development*

*Tendencies and Prospects»*. Iss. 17, pt. 1. Moscow. (In Russ.).

5. *2020-2030: A decade of action for sustainable development goals*. (2020). Moscow. (In Russ.).

6. Chikunova, I.A. & Serbinovskaya, N.V. (2021). Analysis of the definition of the term "Safety". *Journal of Science and Education of North-West Russia*, 7(1), 53-59. (In Russ.).

7. Kovzunova, E.S. (2019). Approaches to the interpretation of the concept of "Food security": the analysis of domestic and foreign experience. *Social and Economic Systems Management*, (2), 22-28. (In Russ.).

8. Babkina, E.V. & Sergeev, V.A. (2011). Triple helix of innovative development: US and European experience, possibilities for development in Russia. *Innovations*, (12(158)), 68-78. (In Russ.).

9. Novoselov, S.V. & Mayurnikova, L.A. (2017). *Theoretical Innovation: Scientific and Innovative Activity and Innovation Management: Textbook*. Saint-Petersburg : GIORД. (In Russ.).

10. Regulations on State Supervision in the Field of Use and Protection of Water Bodies (approved by Decree of the Government of the Russian Federation of June 5, 2013 No. 476). Retrieved from: <https://base.garant.ru/70394016/> (In Russ.).

11. Efimochkina, N.R., Bagryantseva, O.V., Dupouy, E.C., Khotimchenko, S.A., Permyakov, E.V., Sheveleva, S.A. & Arnautov, O.V. (2016). New international initiatives to create systems of effective risk prediction and food safety. *Problems of Nutrition*, 85(2), 92-103. (In Russ.).

12. Petrov, A.N., Khanferyan, R.A. & Galstyan, A.G. (2016). Current aspects of counteraction of foodstuff's falsification. *Problems of Nutrition*, 85(5), 86-92. (In Russ.).

13. Bakanova, I.G. & Kapustina, L.V. (2022). Paradigms of modern society as a challenge to the competences of a university teacher in the 21st century. *Scientific-Methodological Electronic Journal "Concept"*, (07), 42-55. (In Russ.). DOI: 10.24412/2304-120X-2022-11053.

14. Ivanova, A.A. (2024). Analysis of methodological approaches to assessing food security]. *Prodo-volstvennaya politika i bezopasnost*. 11(2), 229-244. DOI: 10.18334/ppib.11.2.121114.

### Information about the authors

*L.A. Mayurnikova - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Technology and Organization of Public Catering Department of Kemerovo State University.*

*A. A. Dril - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Technology and Organization of Food Industries Department of Novosibirsk State Technical University.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 27 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 27 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*





Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 664.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.006



## ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЫЖИМОК ТОПИНАМБУРА С ЦЕЛЬЮ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

Константин Алексеевич Фадеев<sup>1</sup>, Лариса Георгиевна Ермош<sup>2</sup>,  
Ольга Яковлевна Кольман<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Россия

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

<sup>1</sup> Konstantin.fadeev97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3315-6362>

<sup>2</sup> 2921220@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0295-0777>

<sup>3</sup> OKolman@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3860-7209>

**Аннотация.** Повышенный интерес перерабатывающих предприятий ко вторичному сырью в настоящее время неукоснительно возрастает с точки зрения ресурсосберегающих технологий, невысокой стоимости сырья и экологической эффективности производства. В ходе обработки клубней топинамбура образуются выжимки, богатые биологически активными веществами, в числе которых имеется инулин, что даёт возможность использовать их в качестве обогатителя разнообразных вариантов пищевых продуктов. Известно, что данный полисахарид представляется действенным пребиотиком, постоянное потребление которого сокращает риск развития заболеваний, связанных с питанием, а также сохраняет и улучшает здоровье человека. В работе представлены результаты исследований химического и аминокислотного состава выжимок топинамбура, а также доказана рациональность их использования в повышении пищевой ценности продуктов питания.

**Ключевые слова:** химический состав, пищевые волокна, аминокислотный состав, выжимки топинамбура, инулин.

**Для цитирования:** Фадеев К. А., Ермош Л. Г., Кольман О. Я. Исследование химического состава выжимок топинамбура с целью их использования в пищевых продуктах // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 44–48. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.006, EDN: <https://elibrary.ru/EQOQWT>.

Original article

## STUDY OF ELEMENTAL COMPOSITION OF POMACE FROM AN EARTHEN PEAR FOR PURPOSE OF THEIR USE IN FOOD PRODUCTS

Konstantin A. Fadeev<sup>1</sup>, Larisa G. Ermosh<sup>2</sup>, Olga Ya. Kolman<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Krasnoyarsk State University", Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Siberian Federal University", Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup> Konstantin.fadeev97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3315-6362>

<sup>2</sup> 2921220@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0295-0777>

<sup>3</sup> OKolman@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3860-7209>

© Фадеев К. А., Ермош Л. Г., Кольман О. Я., 2024

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЫЖИМОК ТОПИНАМБУРА С ЦЕЛЬЮ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

**Abstract.** Processing companies are showing increasing interest in secondary raw materials in terms of resource-saving technologies, low cost of raw materials and an efficient production environment. When processing earthen pear tubers, pomace is formed, rich in biologically active substances (including inulin), which allows them to be used as vitamin supplements to various dishes. It is known that this polysaccharide is an effective prebiotic, its constant consumption reduces the risk of developing dietary diseases and, as is known, supports and improves human health. The results of studies of the chemical and amino acid composition of earthen pear pomace are presented and the rationality of their use to increase the nutritional value of food products is proved.

**Keywords:** chemical composition, dietary fiber, amino acid composition, Jerusalem artichoke pomace, inulin.

**For citation:** Fadeev, K.A., Ermosh, L.G. & Kolman, O.Ya. (2024). Study of elemental composition of pomace from an earthen pear for purpose of their use in food products. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 44-48. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.006. EDN: <https://elibrary.ru/EQOQWT>.

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что пища является неотъемлемой частью крепкого здоровья и прекрасного состояния человеческого организма, так как между ними существует четкая взаимосвязь, но в настоящее время рацион современного человека почти не содержит богатой необходимыми биологически активными веществами растительной пищи, из-за чего практически у всех групп населения наблюдается острый дефицит жизненно необходимых элементов и проблемы со здоровьем.

Государственная политика в области здорового питания активно развивает направление по совершенствованию функциональности продуктов питания с целью устранения недостатка дефицитных витаминов и минералов, что в итоге приводит к развитию производства пищевых продуктов питания, обогащенных незаменимыми компонентами и позволяет выпускать продукты функционального назначения и обеспечивать ими массового потребителя [1].

Согласно общедоступным данным, производство функциональных продуктов питания является наиболее перспективной областью развития пищевой индустрии, что в настоящее время наблюдается в России, которая производит около 1500 тонн в год [2].

Для обогащения таких продуктов служат в основном компоненты, получаемые из природных источников, такие как витамины, микро- и макроэлементы, аминокислоты, а также растворимые и нерастворимые пищевые волокна, которыми богаты выжимки топинамбура.

Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) является ценным сырьем для пищевой промышленности во всем мире за счёт богатого элементного состава: 20,0 % углеводов, из которых 55,0–65,0 % выпадает на долю инулина, пищевых волокон – 5,0 %, белка – 2,3 % и др. ценные биологически активные вещества, что определяет высокую пищевую ценность как самого топинамбура, так и рас-

тительных выжимок [3], а продукция, получаемая из клубней топинамбура, широко используется в обогащении различных видов продуктов питания [4, 5, 6].

Инулин относится к группе растворимых пищевых волокон и является эффективным пребиотиком, позволяющим снизить риск развития заболеваний, связанных с питанием, а также сохранить и улучшить здоровье человека [4, 7].

Выжимки ягодные, плодовые, овощные относятся к нетрадиционному сырью и являются побочным продуктом переработки сельскохозяйственных культур, имеющие богатый химический состав, интерес к которому проявляется, в первую очередь, со стороны растительных волокон, дефицит которых в настоящий момент наблюдается почти у каждого потребителя [8, 9, 10, 11].

В настоящее время интерес перерабатывающих предприятий к вторичным сырьевым ресурсам неуклонно растет с точки зрения ресурсосберегающих технологий, низкой себестоимости сырья и экологической эффективности производства.

В процессе переработки клубней топинамбура на инулино-пектиновые концентраты, фруктозные сиропы получают выжимки с высоким остаточным содержанием биологически активных веществ, в том числе инулина, что позволяет использовать их в качестве обогатителя различных видов пищевых продуктов.

**Целью исследования** является изучение химического состава выжимок топинамбура с целью их дальнейшего использования в производстве продуктов питания с повышенной пищевой ценностью.

**Объекты и методы исследования:** объектами исследования выступали выжимки клубней топинамбура сорта «Интерес», культивируемый в Красноярском крае. Для определения основных составляющих химического состава использовали стандартные методы, согласно ГОСТ на данные виды исследований.

Содержание сухих веществ в выжимках определяли по ГОСТ 28561-90, пектина, клетчатки и инулина в соответствии с ГОСТ 32223-2013, ГОСТ Р 54014-2010 и ГОСТ 13192-73, витамина С, каротиноидов, железа и кальция в соответствии с ГОСТ 24556-89, ГОСТ 54058-2010, ГОСТ 26928-86 и ГОСТ 26570-95.

Аминокислотный состав выжимок определяли согласно методике измерений массовой доли аминокислот методом капиллярного электрофореза. Аминокислотный скор определяли как отношение содержания каждой

аминокислоты к содержанию данной аминокислоты «идеального» белка.

#### Результаты и их обсуждение

В процессе исследования нами была проведена оценка органолептических показателей выжимок топинамбура согласно ГОСТ 8756.1-2017. Результаты приведены в табл. 1.

Данные по химическому составу выжимок топинамбура, который был определен экспериментальным способом, представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Органолептическая оценка выжимок топинамбура

Table 1 – Organoleptic evaluation of jerusalem artichoke pomace

Показатель	Внешний вид и консистенция	Цвет	Запах и вкус
Выжимки топинамбура	Однородная масса с мелкими кусочками неправильной формы	Светлый, желтоватый	Сладковатый, с приятным запахом, свойственный клубням топинамбура

Таблица 2 – Данные по химическому составу выжимок топинамбура

Table 2 – Data on the chemical composition of jerusalem artichoke pomace

Результаты исследований				
Основные пищевые вещества, г/100 г				
М.д. влаги	Зола	Белок	Жир	Углеводы общие
75,47	0,59	2,65	0,28	21,19
Углеводный состав, г				
Клетчатка	Пектиновые вещества	Глюкоза	Сахароза	Инулин (фруктозаны)
0,24	1,82	1,02	0,64	17,47

Из таблицы видно, что выжимки топинамбура характеризуются низким содержанием жира, достаточно высоким для растительного продукта количеством белка, имеют разнообразный углеводный состав, в числе которых лидирует растворимый полисахарид инулин (82,4 % от общего количества) и пек-

тиновые вещества (8,6 %), а общее содержание пищевых волокон (пектиновые вещества, клетчатка и инулин) составляет 19,53 г.

В таблице 3 представлен наиболее значимый минеральный и витаминный состав выжимок топинамбура.

Таблица 3 – Минерально-витаминный состав выжимок топинамбура

Table 3 – Mineral and vitamin composition of jerusalem artichoke pomace

Минеральные вещества, мг/100 г				
Калий	Фосфор	Магний	Кальций	Железо
543,3	40,0	13,37	8,12	0,1
Витаминный состав, мг/100 г				
В <sub>1</sub> (тиамина гидрохлорид)	В <sub>2</sub> (рибофлавин)	РР (никотиновая кислота)	В <sub>5</sub> (никотинамид)	Витамин С, %
0,086	0,057	0,092	0,035	1,07

Выжимки топинамбура являются источником минеральных веществ. Значительным содержанием среди них выделяются такие макроэлементы, как калий и фосфор.

Выжимки богаты разнообразным витаминным составом. Из линейки витаминов гр. В, включающей 7 наименований, в выжимках определено три наименования. Также в

выжимках определено незначительное содержание витамина С.

Из научных источников известно, что клубни топинамбура имеют богатый аминокислотный состав [4, 7]. Поэтому был определен качественный и количественный состав аминокислот в выжимках топинамбура, представленных в табл. 4–5.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЫЖИМОК ТОПИНАМБУРА С ЦЕЛЬЮ  
ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ**

Таблица 4 – Заменяемые аминокислоты выжимок топинамбура

Table 4 – Interchangeable amino acids of jerusalem artichoke pomace

Наименование	Результаты исследований, м.д. в 100 мг, %
Аргинин	0,2030
Тирозин	0,6059
Пролин	0,2006
Серин	0,2663
Аланин	0,3168
Глицин	0,2982
Глутаминовая кислота + Глутамин	0,5930
Аспаргиновая кислота + Аспаргин	0,4342

Таблица 5 – Незаменимые аминокислоты выжимок топинамбура

Table 5 – Essential amino acids of jerusalem artichoke pomace

Наименование	Результаты исследований, м.д. в 100 мг
Треонин	0,4210
Лизин	0,3815
Лейцин + Изолейцин	0,2896
Валин	0,2102
Фенилаланин	0,2014
Гистидин	0,1619
Метионин	0,1356
Триптофан	0,0132

Таблица 6 – Аминокислотный скор выжимок топинамбура

Table 6 – Aminoacidscore of jerusalem artichoke pomace

Вид аминокислоты	Содержание в идеальном белке, г/100г	Содержание в выжимках топинамбура, г/100г	Аминокислотный скор, %
Триптофан	1,0	0,0132	1,32
Треонин	4,0	0,4210	10,5
Изолейцин	4,0	0,150	3,75
Лейцин	7,0	0,139	3,5
Лизин	5,5	0,3815	6,91
Метионин	3,5	0,1356	4,0
Фенилаланин	6,0	0,2014	3,5
Валин	5,0	0,2102	4,2

Анализ показал наличие и разнообразие аминокислотного состава выжимок. Всего определено 19 видов аминокислот, из которых 9 незаменимых и 10 заменимых.

По количественному составу лидером среди незаменимых аминокислот является треонин – 0,42 мг и лизин – 0,38 мг. Среди заменимых – тирозин – 0,61 мг, глутаминовая кислота + глутамин – 0,59 и аспаргиновая кислота + аспаргин – 0,43 мг.

Для определения биологической ценности выжимок топинамбура проведен расчет аминокислотного сора незаменимых аминокислот. Результаты представлены в таблице 6.

Расчет показал, что все аминокислоты выжимок топинамбура являются лимитирующими, что характерно для белкового состава растительных продуктов. Первой лимитирующей незаменимой аминокислотой является триптофан. Высокий аминокислотный скор наблюдается у треонина (10,5 %) и лизина (6,9 %).

### ВЫВОДЫ

Определение и анализ химического и аминокислотного состава показал, что выжимки топинамбура являются, в первую очередь, источником инулина, пектиновых ве-

ществ, клетчатки. Помимо этого, в выжимках имеется достаточно высокий минеральный и витаминный состав. Белок выжимок содержит все незаменимые аминокислоты, что выделяет их из других видов растительного сырья.

Знание химического состава выжимок топинамбура позволит разрабатывать новые виды продуктов питания с наличием инулина для питания людей с сахарным диабетом, продуктов с повышенным количеством пищевых волокон для коррекции массы тела. Сведения по аминокислотному составу выжимок позволят корректировать белковый состав проектируемых продуктов с целью повышения их биологической ценности.

Таким образом, выжимки топинамбура являются перспективным сырьем для расширения и создания новых видов обогащенных, диетических, функциональных продуктов питания. В настоящее время авторами данного исследования разработан ряд хлебобулочных изделий с содержанием ягодно-овощных выжимок, в том числе топинамбура.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ от 25 октября 2010 г. № 1873-р «Об утверждении Ос-

нов государственной политики РФ в области здорового питания населения на период до 2020 г.» // Собрание законодательства Российской Федерации от 8 ноября 2010 г. № 45 ст. 5869.

2. Российский рынок функциональных продуктов питания для здорового образа жизни человека / Л.К. Асякина [и др.] // Социально-экономический и гуманитарный журнал, 2022. № 3. С. 29–41. DOI 10.36718/2500-1825-2022-3-29-41.

3. Ермош, Л.Г. Научно-практическое обоснование получения продуктов повышенной пищевой ценности с использованием клубней топинамбура: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск, 2015. 32 с.

4. Топинамбур – культура многоцелевого использования / В.И. Старовойтов [и др.] // Пищевая промышленность. 2013. № 4. С. 22–25.

5. Ermosh, L.G. Use of powder *Helianthus tuberosus* L. in the production of frozen bread // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 548. Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 82020. DOI 10.1088/1755-1315/548/8/082020.

6. Ермош, Л.Г., Березовикова, И.П. Технология хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов с использованием муки из топинамбура // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 4 (27). С. 11–17.

7. Зеленков, В.Н., Шаин, С.С. Многоликий топинамбур в прошлом и настоящем. Новосибирск : Концерн «ОИТ» – НТФ «АРИС», СО РАМН, 2000. 241 с.

8. Ермош, Л.Г., Фадеев, К.А. Овощные выжимки как источник биологически активных веществ // Проблемы современной аграрной науки: материалы международной научной конференции, Красноярск, 15 октября 2022 года. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2022. С. 233–237.

9. Мусаева, Н.М. Повышение пищевой ценности хлебобулочных изделий на основе добавок из вторичных сырьевых ресурсов и дикорастущих ягод: дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 05.18.01 / Мусаева Наира Магомедовна; [Ме-

сто защиты: Дагестан. гос. с.-х. акад.]. Махачкала, 2010. 184 с.

10. Фадеев, К.А., Ермош, Л.Г. Ягодные выжимки – дополнительные ресурсы повышения пищевой ценности продуктов питания // Матер. национальной науч. конф. «Научно-практические аспекты развития АПК». Красноярск, Красноярский ГАУ. 2023. С. 252–256.

11. Кольман, О.Я., Иванова, Г.В. Новые виды мучных кондитерских изделий для учащихся общеобразовательных учреждений Красноярского края // ЗДОРОВЬЕ ДЛЯ ВСЕХ. 2013. С. 259–262.

### **Информация об авторах**

*К. А. Фадеев – аспирант кафедры «Технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств» Красноярского государственного аграрного университета.*

*Л. Г. Ермош – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств» Красноярского государственного аграрного университета.*

*О. Я. Кольман – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и организации общественного питания» Сибирского федерального университета.*

### **Information about the authors**

*K.A. Fadeev - Postgraduate student of the Department of "Technologies of bakery, Confectionery and Pasta Production" of the Krasnoyarsk State Agrarian University.*

*L.G. Ermosh - Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of "Technologies of Bakery, Confectionery and Pasta Production" of the Krasnoyarsk State Agrarian University.*

*O.J. Kolman - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Organization of Public Catering at the Siberian Federal University.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 12 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 12 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 637.138

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.007

 EDN: JXHCVN

## НАЧАЛО ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ДИЕТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ НАРУШЕНИЙ УГЛЕВОДНОГО И ЛИПИДНОГО ОБМЕНОВ

Алла Львовна Новокшанова<sup>1</sup>, Ольга Владимировна Оксененко<sup>2</sup>,  
Константин Борисович Сухарев<sup>3</sup>, Елена Михайловна Щетинина<sup>4</sup>

<sup>1, 4</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «ФИЦ питания и биотехнологии», г. Москва, Россия

<sup>2, 3</sup> ООО «Пятигорский молочный комбинат»

<sup>1</sup> novokshanova@ion.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5049-1472>

<sup>2</sup> oksenenko@afsv.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6340-1843>

<sup>3</sup> kost\_yan@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4331-6207>

<sup>4</sup> schetinina2014@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3463-9502>

**Аннотация.** Изложен опыт промышленного внедрения специализированного кисломолочного продукта, предназначенного для диетической коррекции пациентов с нарушениями углеводного и липидного обмена. Согласно медико-биологическому обоснованию, в состав специализированного кисломолочного продукта для диетотерапии пациентов с нарушениями углеводного и липидного обмена включен витаминный премикс, соли марганца и цинка, а также биологически активные соединения таурин и L-карнитин. Разработанная рецептура предусматривала комбинирование молока обезжиренного – сырья с сухим обезжиренным молоком, либо восстановление сухого обезжиренного молока в питьевой воде. Технологический процесс производства осуществляли резервуарным методом на современной линии «Tetra Pak» при максимальной автоматизации производственных процессов. До внедрения актуализирована действующая на предприятии система менеджмента качества. Срок годности специализированного кисломолочного продукта в невскрытой герметичной потребительской упаковке составил 21 сутки от момента окончания процесса производства при температуре  $(4\pm 2)$  °С. Оценка специализированного кисломолочного напитка в клинических условиях с целевой аудиторией показала его эффективность для диетической коррекции пациентов с нарушениями углеводного и липидного обмена. Испытания технологии показали, что без технического перевооружения предприятия возрастают такие технико-экономические показатели, как максимальное использование вторичного молочного сырья в производстве инновационной пищевой продукции, расширение ассортимента выпускаемой продукции и повышение конкурентоспособности предприятия.

**Ключевые слова:** специализированный кисломолочный продукт, обезжиренное молоко, технологический процесс, функциональные пищевые ингредиенты, витаминный премикс, марганец, цинк, таурин, L-карнитин, нарушения углеводного обмена, нарушения липидного обмена.

**Для цитирования:** Новокшанова А. Л., Оксененко О. В., Сухарев К. Б., Щетинина Е. М. Начало производства специализированного кисломолочного продукта для диетической коррекции нарушений углеводного и липидного обмена // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 49–52. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.007, EDN: <https://elibrary.ru/JXHCVN>.



Original article

## START OF PRODUCTION OF A SPECIALIZED FERMENTED MILK PRODUCT FOR DIETARY CORRECTION OF CARBOHYDRATE AND LIPID METABOLISM DISORDERS

Alla L. Novokshanova <sup>1</sup>, Olga V. Oksenenko <sup>3</sup>, Konstantin B. Sukharev <sup>4</sup>,  
Elena M. Shchetinina <sup>2</sup>

<sup>1, 4</sup> Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology", Moscow, Russia

<sup>2, 3</sup> «Pyatigorsk milk-processing plant» LLC

<sup>1</sup> novokshanova@ion.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5049-1472>

<sup>2</sup> oksenenko@afsv.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6340-1843>

<sup>3</sup> kost\_yan@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4331-6207>

<sup>4</sup> schetinina2014@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3463-9502>

**Abstract.** *The experience of industrial introduction of a specialized fermented milk product intended for dietary correction of patients with disorders of carbohydrate and lipid metabolism is described. According to medical and biological justification, the composition of a specialized fermented milk product for diet therapy of patients with disorders of carbohydrate and lipid metabolism includes a vitamin premix, manganese and zinc salts, as well as biologically active compounds taurine and L-carnitine. The developed recipe provided for combining skim milk - raw materials with skim milk powder, or reconstituting skim milk powder in drinking water. The production process was carried out using the tank method on a modern Tetra Pak line with maximum automation of production processes. Before implementation, the quality management system in force at the enterprise was updated. The shelf life of the specialized fermented milk product in unopened sealed consumer packaging was 21 days from the end of the production process at a temperature of (4±2) °C. Evaluation of a specialized fermented milk drink in a clinical setting with a target audience showed its effectiveness for dietary correction of patients with disorders of carbohydrate and lipid metabolism. Testing of the technology has shown that without technical re-equipment of the enterprise, such technical and economic indicators as maximum use of secondary dairy raw materials in the production of innovative food products, expansion of the range of products and increased competitiveness of the enterprise increase.*

**Keywords:** *specialized fermented milk product, skim milk, technological process, functional food ingredients, vitamin premix, manganese, zinc, taurine, L-carnitine, carbohydrate metabolism disorders, lipid metabolism disorders.*

**For citation:** Novokshanova, A.L., Oksenenko, O.V., Sukharev, K.B. & Shchetinina, E.M. (2024). Start of production of a specialized fermented milk product for dietary correction of carbohydrate and lipid metabolism disorders. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 49-52. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.007. EDN: <https://elibrary.ru/JXHCNV>.

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальность производства определенных видов специализированной пищевой продукции обусловлена данными статистических отчетов о распространении алиментарно-зависимых заболеваний. К числу таких заболеваний, имеющих множество отдаленных последствий, относятся метаболический синдром, для которого характерно нарушение углеводного и липидного обменов. В России распространенность метаболического синдрома варьирует от 20 до 35 %.

Учитывая изложенное, при научном содействии ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» и практической поддержке ООО «Пятигорский молочный комбинат» совместно разработан специализированный кисломолочный продукт, предназначенный для диетической коррекции пациентов с нарушениями углеводного и липидного обменов.

Цель данной работы – внедрение в промышленное производство специализированного кисломолочного продукта, разработанного для диетической коррекции пациентов с нарушениями углеводного и липидного обменов.

### МЕТОДЫ

Объектом исследования служила технология специализированного кисломолочного продукта в условиях ООО «Пятигорский молочный комбинат».

При апробации технологии в производственных условиях использован аналитический метод. Для оценки качества сырья и готового продукта применяли стандартные методы исследования [1, 2].

Экспериментальные выработки, производство опытно-промышленной партии продукта проведены на базе ООО «Пятигорский молочный комбинат».

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно медико-биологическому обоснованию, в состав специализированного кисломолочного продукта для диетотерапии пациентов с нарушениями углеводного и липидного обменов включен витаминный премикс, соли марганца и цинка, а также биологически активные соединения таурин и L-карнитин.

Разработано две рецептуры, отличающиеся видом основного сырья. Первая рецептура предусматривает комбинирование молока обезжиренного – сырья, с сухим обезжиренным молоком (СОМ). По второй рецептуре СОМ восстанавливали в питьевой воде.

Для сквашивания молочного сырья с функциональными пищевыми ингредиентами использовали комбинированный препарат лиофилизированных культур.

Для утвержденной рецептуры разработан проект технических условий и технологическая инструкция, учитывающая аппаратную оснащенность молочного комбината.

Предприятие осуществляет выпуск молочной продукции на современной технологической линии «Tetra Pak» при максимальной автоматизации процессов. В технологическом цикле обеспечен полный контроль и отслеживание необходимых производственных параметров, влияние человеческого фактора сведено к минимуму.

Для производства кисломолочного продукта действовали следующее оборудование:

- модуль приемки молочного сырья;
- охладитель пластинчатый;
- резервуар для хранения сырого молочного сырья;
- пастеризационно-охладительная установка;
- гомогенизатор;
- поточная вакуумная установка;
- резервуар для заквашивания;
- насос для вязких продуктов;
- автомат упаковочный для асептического розлива.

Технологический процесс производства включал стандартные операции, выполняемые при изготовлении кисломолочных напитков резервуарным методом. Однако при постановке на производство нового специализированного кисломолочного продукта проведена корректировка технологических режимов на каждом этапе процесса и актуализирована действующая на предприятии система менеджмента качества.

Для осуществления производственного контроля разработана программа, учитывающая рекомендации, изложенные в карте метрологического обеспечения технологической инструкции.

При этом большое значение уделено входному контролю каждой партии сырья и ингредиентов на соответствие требований нормативных документов [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Таурин, L-карнитин,

глюконат марганца, цитрат цинка и витаминный премикс соответствовали нормативной документации производителей. Для контроля активности микроорганизмов закваски проводили микроскопирование ее препаратов.

Введение каждого функционального пищевого ингредиента в молочное сырье было исследовано по отдельности. При этом учитывали растворимость ингредиентов в молочном сырье и анализировали степень их влияния на органолептические и физико-химические показатели экспериментальных образцов [11]. В результате на практике установлены оптимальные режимы технологического процесса.

В частности, приготовление смеси при внесении ингредиентов следует вести при температуре  $(45 \pm 2)$  °С и продолжительности перемешивания от 15 до 20 мин.

Подогрев нормализованной смеси и ее гомогенизацию на установке Tetra Term Lacta-P022 требуется осуществлять при температуре  $(68 \pm 2)$  °С. Оптимальный режим пастеризации с использованием установки Tetra Term Lacta-P022, укомплектованной выдерживателем, составил  $(92 \pm 2)$  °С и с выдержкой 5 минут.

При сквашивании была использована температура  $(40 \pm 2)$  °С. Количество вносимой закваски соответствовало рекомендациям производителя. Длительность сквашивания колебалась от 4 до 5 часов при периодическом перемешивании смеси. Сквашивание завершали по достижении продуктом активной кислотности 4,6–4,5 единиц рН. Затем продукт охлаждали до  $(25 \pm 2)$  °С и направляли на розлив, упаковку и маркировку.

В выработанном по разработанной технологии продукте исследованы санитарно-микробиологические и органолептические показатели [12]. Установлено, что срок годности специализированного кисломолочного продукта в невскрытой герметичной потребительской упаковке составит 21 сутки от момента окончания процесса производства при температуре  $(4 \pm 2)$  °С.

Микробиологическая безопасность продукта соответствовала требованиям, установленным в Технических регламентах Таможенного Союза [1, 2]. Количество молочнокислых микроорганизмов на конец срока годности составляло не менее  $1 \cdot 10^7$  КОЕ/см<sup>3</sup>, а количество пробиотических микроорганизмов – не менее  $1 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>.

После проведения экспертизы разработанного кисломолочного продукта в государственном аккредитованном центре подтверждено его соответствие нормативным требованиям, установленным для специализированной пищевой продукции.

Оценка специализированного кисломолочного напитка в клинических условиях с целевой аудиторией показала его эффективность для диетической коррекции пациентов с нарушениями углеводного и липидного обменов.

## ВЫВОДЫ

Внедрение в промышленное производство специализированного кисломолочного продукта, разработанного для диетической коррекции пациентов с метаболическим синдромом – результат плодотворного научно-производственного сотрудничества. Итоги этой работы на примере ООО «Пятигорский молочный комбинат» показали конкурентоспособность российских молокоперерабатывающих предприятий по созданию и выпуску специализированных молочных продуктов.

При этом без технического перевооружения завода возрастают следующие производственные показатели:

- максимальное использование вторичного молочного сырья в производстве инновационной пищевой продукции;

- расширение ассортимента выпускаемой продукции;

- повышение конкурентоспособности предприятия.

Материал подготовлен в рамках государственного задания FGMF-2022-0002.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции». Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии № 67 от 9 октября 2013 года.

2. Технический регламент Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза № 880 от 9 декабря 2011 г.

3. ГОСТ 31658 Молоко обезжиренное-сырье. Технические условия. 2012.

4. ГОСТ Р 52791 Консервы молочные. Молоко сухое. Технические условия. 2007.

5. ГОСТ 33629 Консервы молочные. Молоко сухое. Технические условия. 2015.

6. ТУ 9229-369-00419785 Закваски, бактериальные концентраты, дрожжи и тест-культуры. 2005.

7. ГОСТ 34372 Закваски бактериальные для производства молочной продукции. 2017

8. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических профилактических мероприятий. 2021

9. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания. 2021.

10. Приказ Минсельхоза РФ № 862 «Об утвер-

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 12 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 12 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*

ждении Ветеринарных правил организации работы по оформлению ветеринарных сопроводительных документов, Порядка оформления ветеринарных сопроводительных документов в электронной форме и Порядка оформления ветеринарных сопроводительных документов на бумажных носителях», Решение Комиссии Таможенного Союза ЕврАзЭС. № 317 «О применении ветеринарно-санитарных мер в Таможенном союзе».

11. Новокшанова А.Л. Исследование возможности применения функциональных пищевых ингредиентов в составе молочных продуктов для употребления при метаболическом синдроме / А.Л. Новокшанова, Е.М. Щетинина, А.С. Билялова // Ползуновский вестник. 2024. № 2. С. 73–78.

12. МУК 4.2.1847-04 Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов : издание официальное : введен взамен МУК 4.2.727-99 «Гигиеническая оценка сроков годности пищевых продуктов»: введен 2004-06-20. – Текст электронный / Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора. Вып. 2 (16), 2004 год. Москва. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/366/4293855345.pdf>.

## Информация об авторах

*А. Л. Новокшанова – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».*

*О.В. Оксененко – директор по производству, ООО «Пятигорский молочный комбинат», г. Пятигорск.*

*К. Б. Сухарев – генеральный директор, ООО «Пятигорский молочный комбинат», г. Пятигорск.*

*Е. М. Щетинина – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».*

## Information about the authors

*A.L. Novokshanova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Food Biotechnologies and Specialized Products of the Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology".*

*O.V. Oksenenko - Production Director, ООО "Pyatigorsk milk-processing plant LLC".*

*K.B. Sukharev - General Director, ООО "Pyatigorsk milk-processing plant LLC".*

*E.M. Shchetinina - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Food Biotechnologies and Specialized Products of the Federal State Budgetary Institution of Education "Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology".*



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 641.1

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.008

 EDN: CPSZCA

## СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА САПОНИНСОДЕРЖАЩИХ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Елена Николаевна Артемова<sup>1</sup>, Кристина Владимировна Власова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орёл, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия

<sup>1</sup> helena-1959@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7203-4475>

<sup>2</sup> vlasova\_kv\_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0434-9686>

**Аннотация.** Сапонинсодержащее сырье играет важную роль в создании и улучшении качественных характеристик многих продуктов питания, делая их более привлекательными для потребителя. Данное сырье используется в технологиях продуктов питания, особенно с пенной и эмульсионной структурой. Исследования в этой области важны не только для улучшения существующих технологий производства продуктов питания, но и для разработки новых продуктов с улучшенными органолептическими и функциональными характеристиками. Авторами были рассмотрены поверхностно активные свойства сапонинов с яичным альбумином, моделирующих разнообразные пищевые системы с их участием. Для исследования были выбраны тритерпеновые сапонины (фирмы Мерск и сапонин из конских каштанов), которые имеют в качестве агликаона олеаноловую кислоту, которая обуславливает антимицробный, противораковый, гепатопротекторный, антиоксидантный, гиполипидемический и другие эффекты.

Эксперимент включал оценку свойств растворов двух сапонинов и яичного альбумина в зависимости от их концентрации с позиции структурно-механического фактора устойчивости, а затем влияние яичного альбумина на растворы сапонинов по тем же показателям. Растворы характеризовали поверхностным натяжением, прочностью межфазного адсорбционного слоя, активной кислотностью и эмульгирующей способностью. Для получения результатов в близком диапазоне значений, концентрация исследуемых растворов яичного альбумина (0,1–1,0 %) на порядок выше концентрации растворов сапонинов (0,01–0,1 %), что связано с очень высокой поверхностной активностью последних. Влияние альбумина на 0,05%-ные растворы сапонинов определяли в концентрациях 0,05–0,5 %.

Установлено, что в зависимости от активной кислотности растворов имеют место две разнонаправленные тенденции образования ассоциатов яичного альбумина с сапонином. Роль отдельных веществ в стабилизации эмульсии и пен смещается в ту или иную сторону из-за возможности образования сапонино-белковых ассоциатов и их коллоидно-химических свойств. При образовании сапонино-белковых ассоциатов снижается способность белковых макромолекул к структурообразованию в МАС, но при этом, благодаря уникальной структуре ассоциатов открываются возможности значительной лиофилизации межфазной границы водный раствор – масло.

**Ключевые слова:** пищевые системы, структурно-механический фактор устойчивости, пены, эмульсии, сапонины, яичный альбумин

**Для цитирования:** Артемова Е. Н., Власова К. В. Структурообразующие свойства сапонинсодержащих пищевых систем // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 53–60. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.008, EDN: <https://elibrary.ru/CPSZCA>.

## STRUCTURE-FORMING PROPERTIES OF SAPONIN-CONTAINING FOOD SYSTEMS

Elena N. Artemova <sup>1</sup>, Kristina V. Vlasova <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Oryol State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

<sup>2</sup> Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU), Moscow, Russia

<sup>1</sup> helena-1959@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7203-4475>

<sup>2</sup> vlasova\_kv\_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0434-9686>

**Abstract.** *The problem of studying saponin-containing raw materials in food systems is relevant, it is increasingly used in food technologies, especially with foam and emulsion structures. The paper considers the surface active properties of saponins with egg albumin, modeling a variety of food systems with their participation. Triterpene saponins (from Merck and saponin from horse chestnuts) were selected for the study, which have oleanolic acid as an aglycone, which causes antimicrobial, anti-cancer, hepatoprotective, antioxidant, lipid-lowering and other effects.*

*The experiment included an assessment of the properties of solutions of two saponins and egg albumin depending on their concentration from the standpoint of the structural and mechanical stability factor, and then the effect of egg albumin on saponin solutions according to the same indicators. The solutions were characterized by surface tension, the strength of the interfacial adsorption layer, active acidity and emulsifying ability. To obtain results in a close range of values, the concentration of the studied egg albumin solutions (0.1-1.0%) is an order of magnitude higher than the concentration of saponin solutions (0.01-0.1%), which is due to the very high surface activity of the latter. The effect of albumin on 0.05% saponin solutions was determined at concentrations of 0.05-0.5%.*

*It has been established that, depending on the active acidity of solutions, there are two multidirectional trends in the formation of egg albumin associates with saponins. The role of individual substances in the stabilization of emulsions and foams is shifting in one direction or another due to the possibility of the formation of saponin-protein associates and their colloidal chemical properties. When saponin-protein associates are formed, the ability of protein macromolecules to structure in MAC decreases, but at the same time, due to the unique structure of the associates, the possibilities of significant lyophilization of the aqueous solution-oil interface open up.*

**Keywords:** *food systems, structural and mechanical stability factor, foams, emulsions, saponins, egg albumin.*

**For citation:** Artemova, E.N. & Vlasova, K.V. (2024). Structure-forming properties of saponin-containing food systems. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 53-60. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.008. EDN: <https://elibrary.ru/CPSZCA>.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время доступно большое количество пищевых эмульгаторов и пенообразователей, отличающихся между собой физико-химическими, органолептическими и функциональными свойствами [1, 2]. Сапонины как натуральные высоко поверхностно-активные вещества в этом направлении вызывают большой интерес, особенно тритерпеновые, которые имеют в качестве агликона олеаноловую кислоту [3, 4, 5].

Кроме того, многими отечественными и зарубежными авторами доказано, что эта кислота обуславливает антимикробный, противораковый, гепатопротекторный, антиоксидантный, гиполипидемический и другие эффекты, что усиливает интерес к сапонинсодержащему сырью при создании продуктов питания [6].

На основе или с участием сапонинсодержащих растений в настоящее время разрабатываются многие пищевые продукты для традиционного питания, а также диетического и профилактического. С позиции органолептической оценки структура нового продукта, его консистенция и внешний вид имеют важнейшее значение и должны соответствовать определенным требованиям рассматриваемой группы продуктов. Значительный интерес к сапонинсодержащему сырью, используемому в пищевых технологиях, расширение его ассортимента и все более широкое применение в технологии различных групп пищевых продуктов выдвигает и делает актуальной проблему изучения механизма формирования эмульсий и пен с его участием

Сочетание в пенных и эмульсионных пищевых системах белкового и растительно-

**ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2024**

го сырья встречается достаточно часто. Это майонезы, кремы как десерты и как отделочные полуфабрикаты, самбуки, коктейли, эмульсии для различных мясных и мучных кондитерских и кулинарных изделий, в которых белоксодержащими продуктами часто выступают яичные продукты. Кроме того, белки, находясь в составе растительной сапонинсодержащей ткани, также могут участвовать в формировании структуры эмульсий и пен.

Целью данной работы явилось изучение стабилизирующих свойств водных растворов сапонинов в присутствии яичного альбумина.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для исследования были выбраны сапонин фирмы Merck и сапонин, лиофилизированный (из конских каштанов) марки «А» ТУ 6-09-4345-77 и яичный альбумин, соответствующий ГОСТ 30363-2013 «Продукты яичные жидкие и сухие пищевые. Технические условия». Их растворы характеризовали поверхностным натяжением, прочностью межфазного адсорбционного слоя (МАС), активной кислотностью и эмульгирующей способностью. В состав сапонины фирмы Merck входят пентациклические тритерпеновые сапонины, которые содержатся не менее чем в 70 семействах и типичны более чем для 150 родов [7, 8].

Согласно структурно-механическому фактору, устойчивость эмульсионных и пенных систем определяется не только снижением поверхностного натяжения, но и образованием прочных межфазных адсорбционных слоев. Изучение смешанных межфазных слоев, содержащих несколько поверхностно-активных компонентов, является весьма существенным в исследовании возможности образования стабильных эмульсионных пищевых систем [9, 10]. В свою очередь, возможность образования интерполимерных комплексов обусловлена электростатическим взаимодействием разноименно заряженных полиэлектролитов на межфазной поверхности и во многом определяется активной кислотностью системы. Поэтому, кроме эмульгирующей способности рассматриваемых систем, оценивали их поверхностное натяжение, прочность МАС на границе с маслом и активную кислотность.

Прочность МАС определяли с помощью поверхностного электрорвискозиметра, принципы конструкции которого предложены Ре-

биндером и Трапезниковым [9, 10]. Измерения проводили при постоянной скорости вращения столика, регистрируя изменения статического напряжения сдвига во времени на границе с дезодорированным растительным маслом. Поскольку модуль упругости торсиона (вольфрамовой нити) много выше модуля упругости исследованных межфазных адсорбционных слоев, то такой режим испытаний обеспечивает постоянство скорости деформации на начальной (линейной) и конечной стадиях развития напряжения сдвига. Поверхностное натяжение определяли методом максимального давления пузырька; активную кислотность – на приборе рН-340; эмульгирующую способность – с помощью центрифуги К-70 и лабораторной мешалки Tur-2. Все показатели определяли при температуре 20 °С.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первоначально оценили свойства растворов двух сапонинов и яичного альбумина в зависимости от их концентрации по показателям, характеризующим эмульгирующую способность с позиции структурно-механического фактора устойчивости, а затем влияние яичного альбумина на растворы сапонинов 0,05 % концентрации по тем же показателям.

На рисунке 1 представлено изменение поверхностного натяжения однокомпонентных растворов выбранных для исследования веществ. Для получения результатов в близком диапазоне значений концентрация исследуемых растворов яичного альбумина (0,1–1,0 %) на порядок выше концентрации растворов сапонинов (0,01–0,1 %), что подтверждает очень высокую поверхностную активность последних.

Далее рассмотрели влияние заданного интервала концентраций яичного альбумина 0,05–0,5 % на поверхностное натяжение и прочность МАС 0,05%-ных растворов сапонинов, что отражено на рисунках 2 и 3. Влияние яичного альбумина на рассматриваемые сапонины носит разный характер. Поверхностное натяжение раствора сапонины из конского каштана с ростом в нем количества яичного альбумина возрастает, а раствора сапонины фирмы Merck снижается.

При этом как рост, так и снижение достаточно небольшие: поверхностное натяжение 0,05%-ного раствора сапонины фирмы Merck снижается с 60,3 до 58,2 мН/м, а значение данного показателя для сапонины из конских каштанов возрастает с 52,5 до 56,7 мН/м.



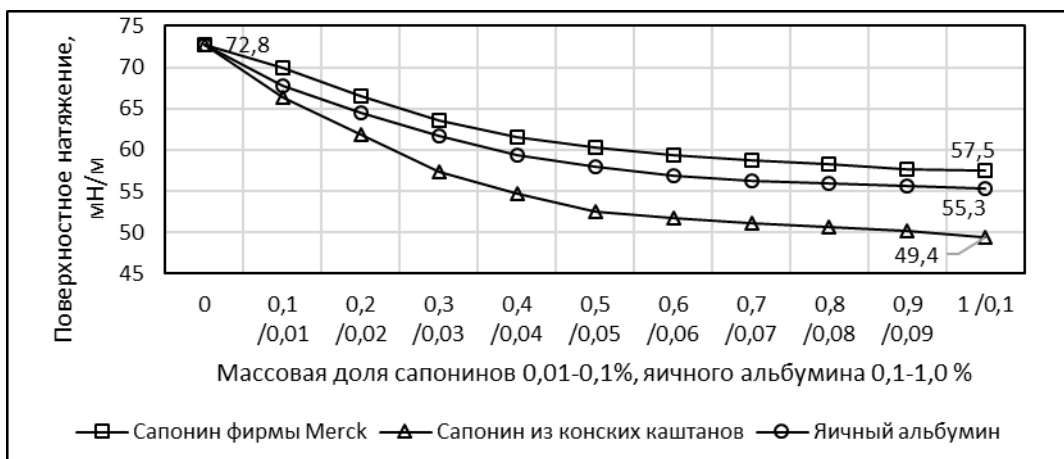


Рисунок 1 – Поверхностное натяжение водных растворов сапонинов и альбумина в зависимости от концентрации, %

Figure 1 – Surface tension of aqueous solutions of saponins and egg albumin as a function of concentration, %

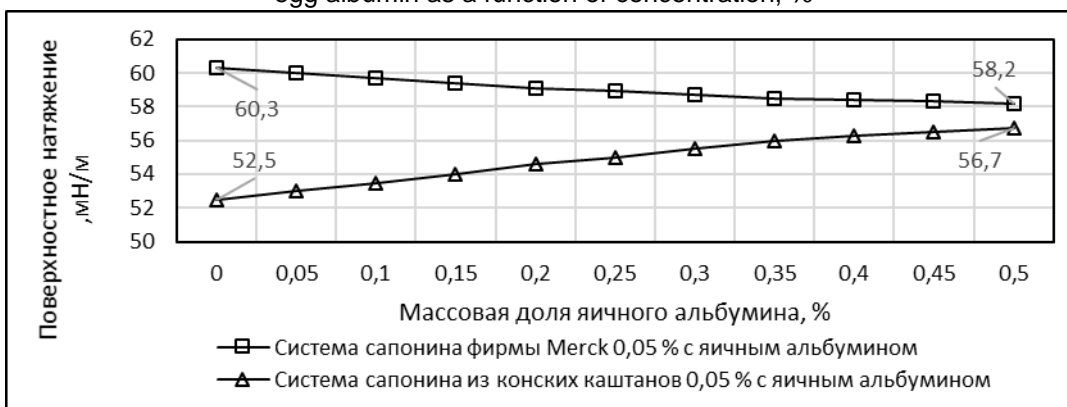


Рисунок 2 – Влияние массовой доли яичного альбумина на поверхностное натяжение 0,05%-ных растворов сапонинов

Figure 2 – Influence of egg albumin mass fraction on surface tension of 0.05% solutions of saponins

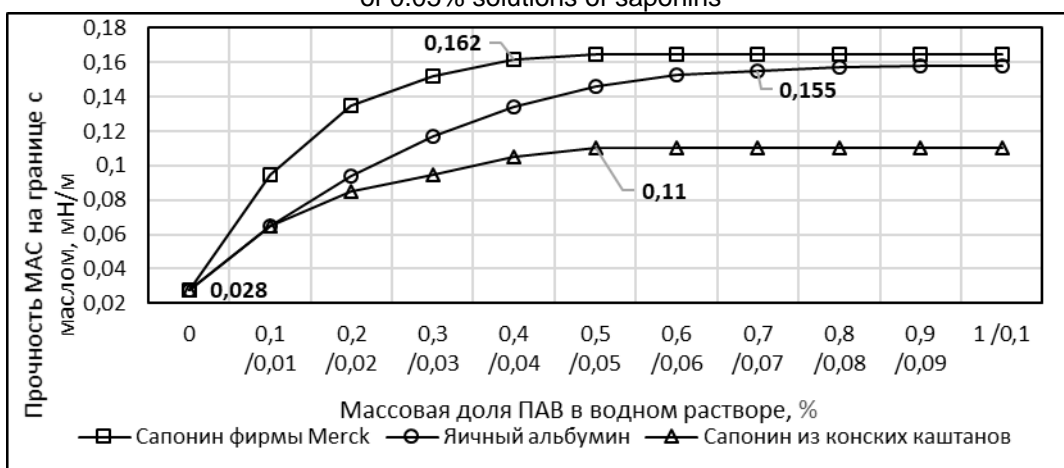


Рисунок 3 – Прочность МАС водных растворов ПАВ на границе с маслом в зависимости от концентрации

Figure 3 – Strength of MAS of aqueous surfactant solutions at the boundary with oil as a function of concentration

Изменение прочности МАС водных растворов сапонинов на границе с маслом в зависимости от концентрации носит похожий характер. Прочность МАС растворов сапонины фирмы Мерск нарастает с большей скоростью в первой половине исследуемого диапазона концентраций – до 0,04–0,05 %, чем во второй, практически не меняясь. Прочность МАС раствора сапонины из конских каштанов нарастает до концентраций 0,03–0,04 % и при дальнейшем увеличении концентрации также остается стабильной. При этом по абсолютной величине прочность МАС растворов сапонины фирмы Мерск превосходит данный показатель для растворов сапонины из конских каштанов.

Что касается МАС водных растворов яичного альбумина, то скорость упрочивания МАС в первой половине исследуемого диапазона выше, чем у растворов сапонины, и достигает максимума в концентрациях 0,3–0,4 %, превосходя по абсолютной величине значения данного показателя для растворов сапонины. Но, как было изложено выше, концентрация растворов яичного альбумина на порядок выше, чем растворов сапонины.

Очевидно, с ростом концентрации в растворе исследуемых ПАВ происходит увеличение их количества на границе раздела фаз и соответственно упрочивание МАС, а после его насыщения данный показатель стабилизируется и мало меняется. Для каждого вещества этот процесс носит индивидуальный характер.

Рассматривая влияние яичного альбумина на прочность МАС водных 0,05%-ных растворов сапонинов на границе с маслом, имеем противоположную картину (рисунок 4). Прочность МАС водного раствора сапонины фирмы Мерск практически не меняется, но с ростом концентрации яичного альбумина намечается тенденция к снижению. В то же время прочность МАС водного раствора сапонины из конских каштанов на границе с маслом несколько возрастает и имеет тенденцию к росту.

Эмульгирующая способность водных растворов сапонинов с ростом концентрации возрастает, при этом по абсолютной величине значения для сапонины фирмы Мерск больше, чем для сапонины из конских каштанов. Эмульгирующая способность растворов яичного альбумина возрастает с ростом концентрации и превосходит значения для растворов обоих сапонинов (рисунок 5).

Влияние концентрации яичного альбумина на эмульгирующую способность 0,05%-ных растворов сапонинов носит похожий характер –

она возрастает для обоих сапонинов, и при концентрации яичного альбумина 0,25 % и более практически одинакова, хотя исходные позиции заметно выше у сапонины фирмы Мерск.

Анализируя рассмотренные показатели: поверхностное натяжение, прочность МАС и эмульгирующую способность, наблюдаем похожие тенденции роста для всех рассматриваемых ПАВ с ростом их концентрации в однокомпонентных растворах. Сравнивая растворы сапонинов между собой, отмечаем, что сапонин фирмы Мерск в меньшей степени, чем сапонин из конских каштанов снижает поверхностное натяжение раствора, но при этом образует более прочный МАС на границе с маслом и образует более стойкую эмульсию. Очевидно, что образование более прочных МАС является более важным показателем в определении эмульгирующей способности систем, что согласовывается со структурно-механическим фактором устойчивости.

Влияние яичного альбумина на растворы исследуемых сапонинов носит различный и противоречивый характер. Так, рост количества яичного альбумина в 0,05%-ном растворе сапонины снижает как поверхностное натяжение, так и прочность МАС, незначительно увеличивая способность к получению эмульсии. В то же время рост количества яичного альбумина в 0,05%-ном растворе сапонины из конских каштанов повышает поверхностное натяжение и упрочивает МАС, увеличивая способность к эмульгированию. Из чего следует вывод, что четкая зависимость между поверхностным натяжением и прочностью МАС хорошо прослеживается в однокомпонентных системах и отсутствует в многокомпонентных. Очевидно, это связано с взаимодействием веществ в растворе.

Яичный альбумин, как представитель белковых веществ, обладает амфотерностью, изменение его возможностей к взаимодействию тесно связано с его изоэлектрической точкой. Исходя из этого, определили активную кислотность исследуемых растворов, представленную на рисунках 7 и 8.

Согласно данным, представленным на рисунке 7, растворы яичного альбумина имеют слабощелочную активную кислотность, которая значительно выше изоэлектрической точки для этого белка – 4,8. Растворы сапонинов имеют, напротив, кислую рН среды, при этом у растворов сапонины фирмы Мерск рН среды заметно ниже, чем у растворов сапонины из конских каштанов.

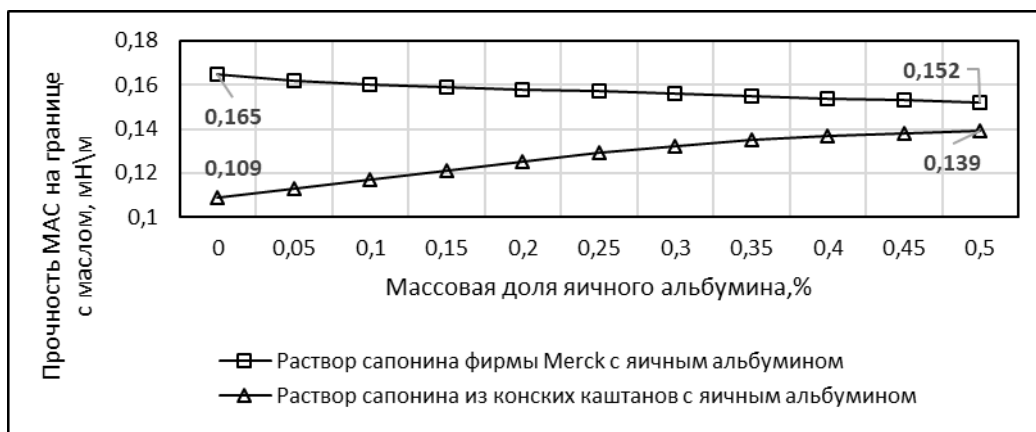


Рисунок 4 – Влияние яичного альбумина на прочность МАС водных 0,05%-ных растворов сапонинов на границе с маслом  
 Figure 4 – Effect of egg albumin on the strength of MAS of aqueous 0.05% aqueous solutions of saponins at the interface with oil

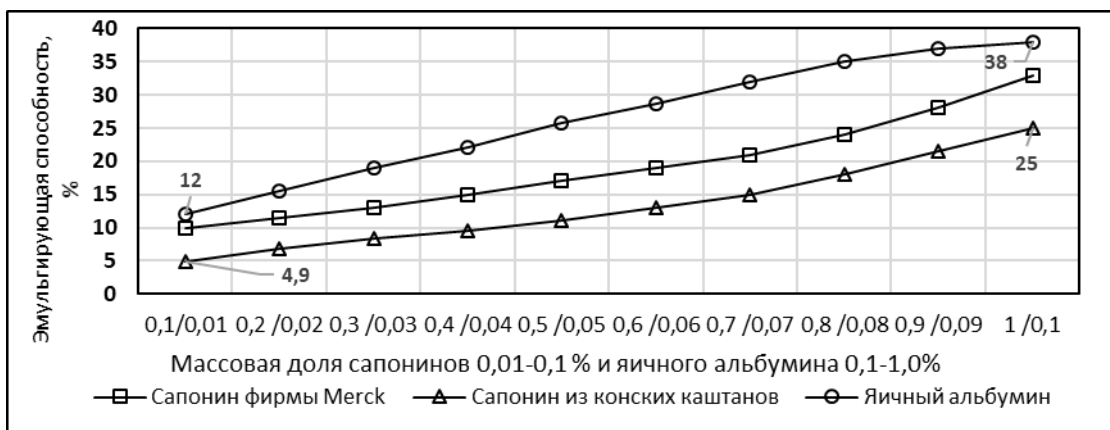


Рисунок 5 – Эмульгирующая способность МАС водных растворов ПАВ, %  
 Figure 5 – Emulsifying ability of MAS of aqueous surfactant solutions, %

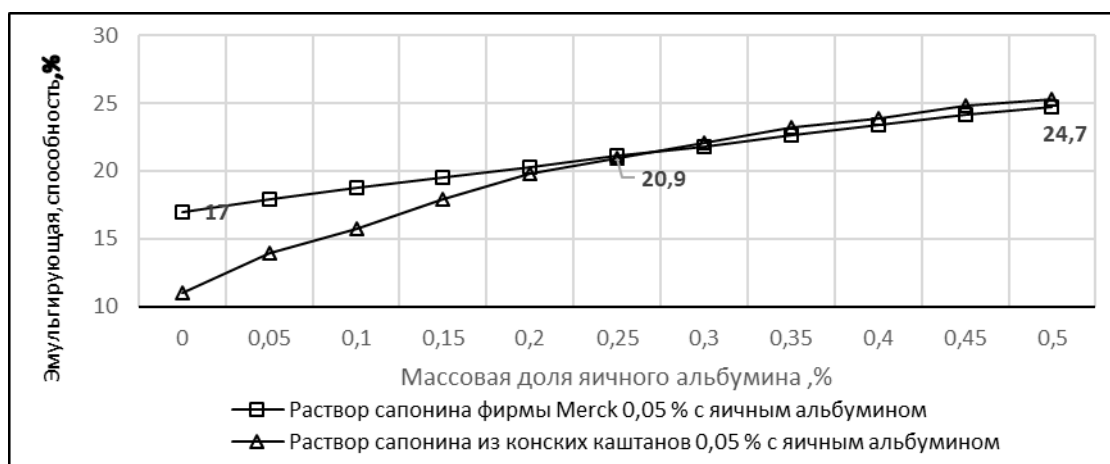


Рисунок 6 – Влияние яичного альбумина на эмульгирующую способность водных 0,05%-ных растворов сапонинов  
 Figure 6 – Effect of egg albumin on the emulsifying ability of aqueous 0.05% aqueous solutions of saponins

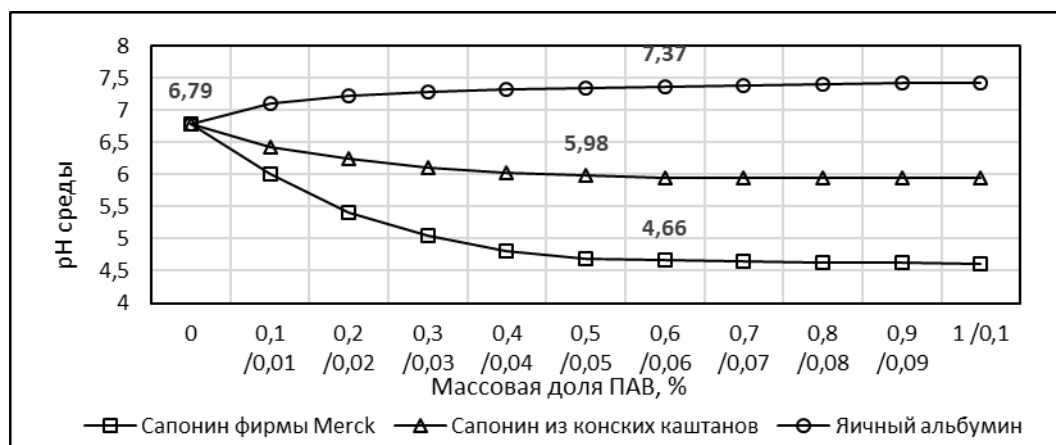


Рисунок 7 – pH среды водных растворов сапонинов и яичного альбумина в зависимости от концентрации

Figure 7 – pH of aqueous solutions of saponins and egg albumin as a function of on the concentration

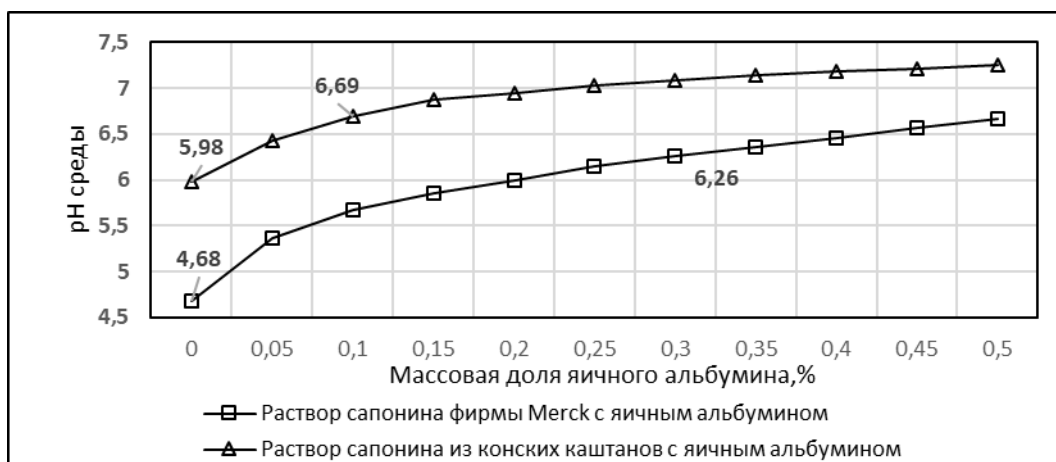


Рисунок 8 – Влияние яичного альбумина на pH среды водных 0,05%-ных растворов сапонинов

Figure 8 – Effect of egg albumin on the pH of the medium of aqueous 0,05% solutions of saponins

Введение яичного альбумина в исследуемые растворы сапонинов несколько повышает их активную кислотность, о чем свидетельствуют данные, представленные на рисунке 8. Исходя из того, что яичный альбумин выше изоэлектрической точки действует как кислота, говорить о тесном взаимодействии его с сапонинами, как одинаково заряженными частицами, не приходится.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

И сапонины, и яичный альбумин, являясь высоко поверхностно-активными веществами, проникая в межфазный слой, формируют его на основе конкурентной адсорбции в зависимости от собственных индивидуальных особенностей и активной кислотности системы. Об этом свидетельствует отсутствие выраженного синергического эффекта, подтвержденного

данными проанализированных выше показателей. Вместе с тем, учитывая одновременное присутствие в межфазном слое сапонинов и яичного альбумина, нельзя исключать образование сапонино-белковых ассоциатов, что влияет на механизм стабилизации таких дисперсных систем, как эмульсии и пены.

Таким образом, исследования выбранных показателей рассматриваемых систем, имеющих в своем составе сапонины и белки, позволяет сделать важные выводы, что в зависимости от активной кислотности среды имеют место две разнонаправленные тенденции образования ассоциатов яичного альбумина с сапонинами. Роль отдельных веществ в стабилизации эмульсии и пен смещается в ту или иную сторону из-за возможности образования сапонино-белковых ассоциатов и их коллоидно-химических свойств. При образовании сапо-

нино-белковых ассоциатов снижается способность белковых макромолекул к структурообразованию в МАС, но при этом, благодаря уникальной структуре ассоциатов открываются возможности значительной лиофилизации межфазной границы водный раствор – масло.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МакКлементс Д.Дж. Пищевые эмульсии: принципы, практика и технические приемы. Бока-Ратон: CRC press, 2015. 690 с.
2. Хазенхюттль Г.Л., Хартел В.Р. Пищевые эмульгаторы и их применение (2-е изд.) / под ред. Г.Л. Хазенхюттль. Москва : Профессия. 2008. 288 с.
3. Юдина Т.П. Поиск перспективного источника сапонинов для получения растительного эмульгатора / Т.П. Юдина [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. 2008. № 2–3. С. 33–36.
4. Сальникова В.А. Стабилизация прямых эмульсий тритерпеновыми сапонинами // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 2. С. 20–22.
5. Типпель Дж. Состав экстракта сапонина Quillaja влияет на окисление липидов в эмульсиях масло-вода / Дж. Триппель [и др.] // Пищевая химия. 2016. № 16. С. 316–72-7. doi: 10.1016/j.food-chem.2016.10.055.
6. Янг Ю. Образование и стабильность эмульсии с использованием натурального низкомолекулярного поверхностно-активного вещества: сапонина Quillaja (Q-Naturale) / Ю. Янг [и др.] // Пищевые гидроколлоиды. 2013. № 2 (30). С. 589–596. doi: 10.1016/j.foodhyd.2012.08.008.
7. Делай С. Выделение и выяснение структуры высокогемолитического сапонина из экстракта сапонина Мерк с использованием методов ЯМР с усилением градиента поля / С. Делай [и др.] // Исследование углеводов. 1997. № 1–2 (302). С. 67–78. doi: 10.1016/s0008-6215(97)00101-8.
8. Мироненко Н.В. УФ-спектрофотометрическое определение тритерпеновых сапонинов – производных олеаноловой кислоты / Н.В. Мироненко [и др.] // Химия растительного сырья. 2011. № 3. С. 153–157.
9. Грицкова И.А. Влияние природы полимерного стабилизатора на реологические свойства межфазных адсорбционных слоев / И.А. Грицкова [и др.] // Журнал физической химии, 2020, № 9 (94), С. 1391–1397. DOI: 10.31857/S0044453720090101.
10. Измайлова В.Н., Ребиндер П.А. Структурообразование в белковых системах. М. : Наука, 1974. 268 с.

#### Информация об авторах

Е. Н. Артемова – д.т.н., профессор кафедры «Технологии продуктов питания и организация ресторанного дела» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева.

К. В. Власова – к.т.н., доцент кафедры «Цифровая нутрициология, гостиничный и ре-

сторанный сервис» Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ).

#### REFERENCES

1. McClements, D.J. (2015). Food emulsions: principles, practices, and techniques. Boca Raton: CRC press.
2. Hazenhöttl, G.L. & Hartel, W.R. (2008). Food emulsifiers and their application. Moscow: Profession. 288 p.
3. Yudina, T.P., Cherevach, E.I., Tsybulko, E.I. & Babin, Yu. (2008). Search for a promising source of saponins for obtaining plant emulsifier. University news. Food technology, (2-3), 33-36.
4. Salnikova, V.A. (2018). Stabilization of direct emulsions by triterpene saponins. Storage and processing of agricultural raw materials, (2), 20-22.
5. Toppel, J., Gies, K., Harbaum-Piayda, B., Steffen-Heins, A. & Drusch, S. (2016). Composition of Quillaja saponin extract affects lipid oxidation in oil-water emulsions. Food Chemistry, (221), 386-294. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.055.
6. Yang, Y., Leser, M.E., Sher, A.A. & McClements, D.J. (2013). Formation and stability of emulsion using natural low molecular weight surfactant: Quillaja saponin Q-Naturale. Food Hydrocolloids, (2), 589-596. (In Russ.). doi:10.1016/j.foodhyd.2012.08.008.
7. Delay, C., Gavin, J.A., Aumelas, A., Bonnet, P.A. & Roumestand, C. (1997). Separation and structure elucidation of a highly hemolytic saponin from Merck saponin extract using field gradient enhanced NMR techniques. Carbohydrate Research, (1-2), 67-78. (In Russ.). doi: 10.1016/s0008-6215(97)00101-8.
8. Mironenko, N.V., Brezhneva, T.A. & Selemenev, V.F. (2011). UV-spectrophotometric determination of triterpene saponins - derivatives of oleanolic acid. Chemistry of plant raw materials, 2011, (3), 153-157. (In Russ.).
9. Gritskova, I.A., Andreeva, A.V., Klyuzhin, E.S., Satskevich, O.A., Basyreva, L.Y. & Levachev, S.M. (2020). Influence of the nature of polymer stabilizer on the rheological properties of interfacial adsorption layers. Journal of Physical Chemistry. (9), 1391-1397. (In Russ.). DOI: 0.31857/S0044453720090101.
10. Izmailova, V.N. & Rebinder, P.A. (1974). Structure formation in protein systems. Moscow: Nauka, 1974. (In Russ.).

#### Information about the authors

E.N. Artemova - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Food Technology and Organization of Restaurant Business" of the I.S. Turgenev Oryol State University.

K.V. Vlasov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Digital Nutrition, Hotel and Restaurant Service of the Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovskiy (PKU).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 21 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 21 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.



Обзорная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 637.5.04/07

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.009



## ОБЗОР ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ В ИЗУЧЕНИИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МЯСА ВЕРБЛЮДА

Антон Дмитриевич Лебедев <sup>1</sup>, Станислав Викторович Колобов <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия

<sup>1</sup> a.d.lebedevv@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-9163-9286>

<sup>2</sup> Kolobov.SV@rea.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5536-6910>

**Аннотация.** Статья посвящена обобщению и анализу последних исследований биохимического состава мяса верблюда, где главными показателями выступают содержание жира, белка, минералов и липидов. Являясь перспективным источником питательных веществ, мясо верблюдов мало изучено, хотя его и сравнивают с традиционными видами мяса. Также имеются данные об использовании верблюжатины в диетическом питании. Необходимо было рассмотреть определенный заранее список имеющихся исследований по этой теме. По итогам исследований, можно сказать, что мясо верблюда содержит схожий состав биохимических веществ, сохраняя более низкий показатель жира.

Мясо верблюда оценивается как менее жирное и богатое полезными соединениями, например олеиновыми кислотами, являясь продуктом высокого качества для употребления в пищу людям с нарушением сердечно-сосудистой системы.

В последние годы ведутся активные дискуссии по включению верблюжьего мяса в традиционные рационы питания людей с целью расширения ассортимента мясных продуктов, создания продуктов функционального назначения и экономии мясного сырья. Исследования подчеркивают недостаточный уровень изученности мяса верблюда с точки зрения использования для пищевой промышленности, также его роль как функционального продукта питания.

**Ключевые слова:** биохимический анализ, верблюжье мясо, жидкостная хроматография, масс-спектрометрия, липиды, белки, жиры.

**Для цитирования:** Лебедев А. Д., Колобов С. В. Обзор последних достижений в изучении биохимического состава мяса верблюда // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 61–65. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.009, EDN: <https://elibrary.ru/UIGRHC>.

Original article

## REVIEW OF LATEST ACHIEVEMENTS IN STUDY OF BIOCHEMICAL COMPOSITION OF CAMEL MEAT

Anton D. Lebedev <sup>1</sup>, Stanislav V. Kolobov <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

<sup>1</sup> a.d.lebedevv@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-9163-9286>

<sup>2</sup> Kolobov.SV@rea.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5536-6910>

**Abstract.** The article is devoted to the generalization and analysis of recent studies of the bionic composition of camel meat, where the main indicators are the content of fat, protein, minerals and lipids. Being a promising source of nutrients, camel meat has been little studied, although it is compared with traditional types of meat. There is also data on the use of this meat in dietary nutrition. It was necessary to review a pre-determined list of available studies on this topic. According to the results of the research, it can be said that camel meat contains a similar composition of biochemical substances, while maintaining a lower fat index.

Camel meat is rated as less fatty and rich in useful compounds, for example, oleic acids, being a high-quality product for consumption by people with a violation of the cardiovascular system.

© Лебедев А. Д., Колобов С. В., 2024



*In recent years, there have been active discussions on the inclusion of camel meat in traditional human diets in order to expand the range of meat products, create functional products and save meat raw materials. The research highlights the insufficiency of research on camel meat in terms of use for the food industry, as well as its role as a functional food product.*

**Keywords:** *biochemical analysis, camel meat, liquid chromatography, mass spectrometry, lipids, proteins, fats.*

**For citation:** Lebedev, A.D., Kolobov, S.V. (2024). Review of latest achievements in study of biochemical composition of camel meat. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 61-65. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.009. EDN: <https://elibrary.ru/UIGRHC>.

## ВВЕДЕНИЕ

Привлечение внимания к мясу верблюда связано с уникальными питательными свойствами и составом. Биохимический анализ предоставляет неоценимый вклад в понимании пищевой ценности, сохранения патентов и разработки стратегий по контролю качества и безопасности пищевой промышленности. Все еще существуют определенные пробелы в знаниях о верблюжьем мясе, касающиеся питательных веществ, учитывая наличие ряда исследований.

По итогу ряда исследований биохимии мяса были выявлены особые различия в химическом составе, который отличался от традиционного говяжьего, свиного или куриного мяса. Необходимость исследования подчеркивается тем, что отсутствует всесторонний биохимический профиль мяса, поэтому целью статьи будет выступать обзор последних работ в данной сфере и выделение актуальных результатов. Будут рассмотрены условные аналитические подходы, показывающие химический состав мяса.

Первым важным исследованием является работа российских ученых Ю.М. Узакова и И.М. Чернухи в области изучения питательного состава на основе аминокислотного профиля. Данная работа дает подробный обзор спектра аминокислот, содержащихся в уже готовом мясе. Так как аминокислоты являются незаменимыми компонентами белков, то анализ показывает влияние кислот на пищеварительные и метаболические функции организма. Такой анализ не только показывает качество мяса, но и помогает сравнить его с иными источниками белка [1].

В другом исследовании под руководством А.М. Таева и С.А. Давлетова рассматривалась возможность дифференциации жирового и химического состава по принадлежности верблюдов к разным породам. Таким образом, исследованию подвергалось мясо казахского верблюда черных мастей, а употребление в пищу различных частей туши – различие в качестве и пищевой ценности мяса [2].

Команда исследователей индийских и китайских университетов провела сравнительное исследование, доступное на портале PubMed, где белковые и липидные показатели верблюжьего мяса сравнивались с мясом крупного рогатого скота и выявлялись конкретные преимущества первого. Анализ показал, что верблюжье мясо имеет высокие пищевые свойства и может оказывать положительное влияние на здоровье человека [6].

## МЕТОДЫ

Анализ существующих исследований в области биохимической оценки верблюжьего мяса включал определенные методы, такие как эмпирический, сравнительный, индуктивный, аналитический. Эмпирический подход основывался на анализе экспериментальных исследований, основанных на наблюдениях и практическом опыте. Индуктивное рассуждение включало экстраполяцию деталей отдельных исследований для получения обобщенных утверждений о свойствах верблюжьего мяса. Сравнительный анализ позволил оценить результаты анализа верблюжьего мяса с данными для других видов мяса, что позволило точно определить уникальные качества и возможное превосходство верблюжьего мяса. В аналитическом методе использовался как количественный, так и качественный анализ для изучения отдельных исследований, этот метод позволяет выделить необходимую информацию.

Чтобы исключить субъективность и повысить достоверность результатов, использовался систематический отбор, включающий последовательный и структурированный обзор литературы по определенным критериям. Отбор источников основывался на базе научных ресурсов, а именно: PubMed, Scopus и Web of Science, в целях исключения неактуальных исследований по этому вопросу.

Вклад этих исследований не только дает важную научную информацию о биохимическом составе верблюжьего мяса, но и помогает формировать стратегии контроля качества и управления безопасностью в пищевой промышленности.

**ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2024**

## ОБЗОР ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ В ИЗУЧЕНИИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МЯСА ВЕРБЛЮДА

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнение химической структуры верблюжатины как с традиционным, так и с более нетрадиционным мясом, таким, как конина, отражаются в последнем исследовании М.Д. Романко и М.В. Клычкова, где были выявлены различия в составе некоторых видов мяса [6].

Сравнивая химические характеристики различных видов убойных животных, исследователи провели количественную оценку ключевых питательных элементов. Полученные результаты показывают, что уровень белка в верблюьем мясе соответствует уровню, содержащемуся в других видах мяса, а анализ показал, что содержание минералов в нем, измеряемое по содержанию золы, значительно меньше, чем в говядине. Примечательно, что верблюжье мясо характеризуется высоким содержанием магния, его концентрация составляет 25,1 мг на 100 граммов, что делает его наиболее богатым магнием среди оцениваемых видов мяса. Кроме того, содержание влаги в верблюьем мясе превосходит содержание влаги в других сортах мяса, зафиксированное на уровне 70,0 %, по сравнению с кониной – 69,6 %, мясом овец – 67,6 %, говядиной – 64,8 % и свиной – 54,3 %. Наряду с высоким содержанием влаги верблюжье мясо отличается более низким содержанием жира – всего 9,4 %, что выгодно отличается от содержания жира в говядине и баранине (по 15,3 %), конине (9,9 %) и свинине (27,8 %). Наименьшее содержание жира наблюдается в мясе оленя и яка – 8,5 % и 3,5 % соответственно [5].

Результаты исследования указывают на благоприятные перспективы использования верблюжьего мяса в диетическом питании благодаря его балансу питательных веществ и низкому содержанию жира. Таким образом, верблюжье мясо потенциально может быть эффективно использовано в процессах производства диетических мясных продуктов, способствуя составлению питательных рационов.

Опубликованное в научном журнале *Frontiers* [7] исследование содержит подробный анализ липидного профиля мяса верблюда-дромадера, говядины и жира жирнохвостых овец. В исследовании применяются передовые методы, включая жидкостную хроматографию со сверхвысокой производительностью в сочетании с масс-спектрометрией с высоким разрешением (TOF), для оценки гистологических различий и состава жирных кислот в тканях. Гистологическое исследование показывает, что мышечная ткань верблюда отличается волокнами меньшего размера и уменьшением внеклеточного про-

странства по сравнению с говяжьей тканью. Одноклеточные адипоциты были идентифицированы в жировой ткани верблюжьих горбов и толстохвостых овец, причем размер клеток адипоцитов был более заметен в области верблюжьего горба [7].

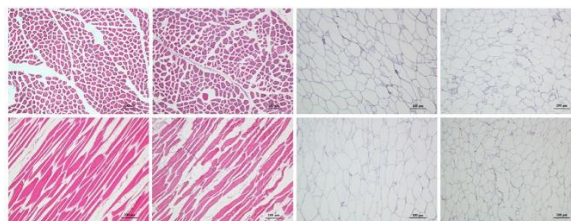


Рисунок 1 – Репрезентативные срезы четырех образцов мяса, полученные методом окрашивания гематоксилином и эозином (H&E) (×100). Слева направо верблюд и говядина, горб и курдюк. Вверху: разрезы; внизу: продольные разрезы. Масштабная линейка представляет собой 100 мкм

Figure 1 – Representative sections of four meat samples obtained by staining with hematoxylin and eosin (H&E) (=100). From left to right, camel and beef, hump and chicken. Above: incisions; below: longitudinal incisions. The scale line is 100 microns

Изучение профиля жирных кислот (табл. 1) выявило различия в количестве насыщенных и ненасыщенных жирных кислот среди проанализированного мяса, где в верблюьем мясе была более низкая доля насыщенных жиров и повышенный уровень олеиновой кислоты по сравнению с говядиной и курдючным жиром овец. В исследовании был представлен подробный обзор полиненасыщенных жирных кислот, таких как линолевая, конъюгированная линолевая (CLA) и арахидоновая (ARA) кислоты, при этом особое внимание уделялось содержанию CLA и ARA.

Таблица 1 – Жирнокислотный состав мяса верблюда, верблюжьего горба, говядины и курдюка

Table 1 – Fatty acid composition of camel meat, camel hump, beef and fat tail

Жирные кислоты	Мясо верблюда	Верблюжий горб	Говядина	Курдюк
C14:0	2,3 %	2,95 %	1,01 %	2,73 %
C15:0	0,24 %	0,71 %	0,26 %	0,57 %
C16:0	15,55 %	18,76 %	15,35 %	17,98 %
C18:0	12,8 %	23,23 %	19,4 %	17,18 %
C18:1 n-9	41,02 %	34,91 %	35,78 %	39,96 %

Использование анализа OPLS-DA выявило различия внутри групп образцов и точно определило основные липиды, которые играют роль в категоризации образцов. Метаболическая характеристика с помощью путей KEGG

выявила критические пути, такие, как пути глицерофосфолипидов, сфинголипидов, эфирных липидов и глицеролипидов, которые играют важную роль в определении различий в липидах между мясом верблюда и его жиром, подчеркивая их возможное значение в диетических и метаболических исследованиях [8].

Эти исследовательские усилия углубляют наше понимание роли липидных компонентов в верблюжьем мясе и жире, в отличие от мяса других животных, употребляемых в пищу, и того, как эти знания могут быть применены в области диетологии и составления планов питания.

Исследования, проведенные С.А. Давлетовой [7], целью которого было изучить особенности распределения жировой ткани и химический состав мяса у верблюдов казахской бактрианской породы, дифференцированных по цвету шерсти. Ученые сравнили химические свойства верблюжьего мяса на основе разных цветов шерсти. В ходе исследования особое внимание уделялось изучению влияния видов, породной специфики, подтипа внутри породы, возраста верблюдов и факторов окружающей среды на химические свойства мяса и общее качество.

Результаты показали отсутствие существенных различий в химическом составе мышечной ткани мясных туш верблюдов разных групп (табл. 2). Однако установлено, что нативные бактрины проявляют большую однородность химического состава мяса из-за меньшей восприимчивости к методическому отбору. Этот заказ, о котором сообщалось до 1970-х годов, не был включен в коммерческие оценки и не был подкреплен селекционной работой, направленной на повышение эффективности производства мяса [4].

Таблица 2 – Химический состав мяса верблюда  
Table 2 – Chemical composition of camel meat

Показатель	I группа Бактриан коричневой масти	II группа Бактриан белой масти	III группа Бактриан черной масти
Влага, %	72,4	72,9	73,0
Белок, %	15,1	14,8	14,3
Жир, %	11,2	11,0	11,4
Зола, %	1,3	1,3	1,3
Соотношение жира к белку	1:74	1:74	1:79

Исследование показало отличную мясную продуктивность, а их потомство к 32-месячному возрасту достигало массы тела от 587 до 610 кг. Сравнительный химический анализ с другими видами крупного рогатого скота подтверждает выводы российских ис-

следователей о факторах, влияющих на качество мяса.

Такие исследователи, как Д.Л. Левантин и З.М. Мусаев, выделили в качестве основополагающих факторов следующие показатели: породу, возраст и состояние животных [3]. Они наблюдали быстрое увеличение жировых отложений у молодых верблюдов и видимые изменения в химическом составе мяса по мере их взросления [4].

Особое внимание в исследовании было уделено анализу содержания жиров и белков, а также характеристик воды в мясе. Мясо, отличающееся бледным цветом и тонкой жировой мраморностью, свидетельствует о его высокой питательной ценности. Тем не менее, верблюжье мясо пользуется низким спросом на рынке, что авторы объясняют укоренившимися общественными убеждениями, основанными на ограниченной осведомленности о химическом составе мяса и его потенциале для здоровья и промышленной продуктивности. Особое внимание уделялось анализу качества белка, жизненно важному аспекту питательной ценности мяса. С использованием спектрофотометрии и хроматографии была проведена детальная оценка аминокислотного состава, что позволило сделать выводы об экономической целесообразности мяса и богатстве белковой составляющей.

Недавние исследования пролили свет на решающую роль и ценность верблюжьего мяса в пищевых системах, представив его как потенциально питательный ресурс с исключительными биохимическими характеристиками. Исследования сосредоточены на тщательном анализе химического состава верблюжьего мяса, что помогает реконструировать его питательный профиль и прогнозировать воздействие на здоровье потребителей. Это исследование открыло новые перспективы в понимании белкового и минерального состава мяса, в дополнение к его гидратации и липидному балансу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При составлении более широких выводов предлагается обобщение обширных данных и практических рекомендаций, которые могли бы стать основой для стратегического планирования в секторах производства мяса и инноваций в области питания.

1. Количество общего белка в верблюжьем мясе соответствует содержанию в других традиционных видах мяса, что свидетельствует о его пригодности и перспективности в качестве важного источника белка для потребления человеком.

## ОБЗОР ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ В ИЗУЧЕНИИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МЯСА ВЕРБЛЮДА

2. Верблюжье мясо, отличающееся высоким содержанием магния и минимальным содержанием золы, признано ценным пищевым продуктом, богатым минеральными веществами.

3. Высокое содержание влаги в сочетании с низким содержанием жира делает верблюжье мясо подходящим для диетического питания и включения в программы питания, направленные на снижение веса и пропаганду здорового образа жизни.

4. Анализ жирнокислотного состава мяса верблюда выявил повышенное содержание ненасыщенных жирных кислот, особенно олеиновой кислоты, которая полезна для здоровья сердца.

5. С помощью анализа метаболических путей OPLS-DA и KEGG было установлено, что метаболические пути имеют решающее значение для формирования уникального липидного состава в мясе верблюда.

6. Существует уникальная возможность для использования верблюжьего мяса в диетических продуктах питания и его перспективной интеграции в производство продуктов питания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таева А.М. Химический состав и пищевая ценность верблюжатины / А.М. Таева, Я.М. Узаков, Б.С. Тамабаева // Мясная индустрия, 2015. № 11. С. 36–38. EDN VBESJR.
2. Давлетов С. Особенности расположения жировой ткани и химический состав мяса верблюдов породы казахский бактриан разных мастей / С. Давлетов // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2015. № 1(33). С. 88–90. EDN TALZMQ.
3. Левантин Д.Л. Теория и практика повышения мясной продуктивности в скотоводстве. М., 1966. 285 с.
4. Мусаев З.М. Использование скрещивания в селекции верблюдов Казахстана. Тезисы докладов научно-практической конференции и координации, посвященной 70-летию ВНИИ коневодство, Дивово, 2000, Т. 22. С. 43–44.
5. Кузьмичева М.Б. Российский рынок нетрадиционных видов мяса / М.Б. Кузьмичева // Мясная индустрия, 2005. № 3. 17–21 с.
6. Кичко Ю.С., Клычкова М.В., Романко М.Д.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 03 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 03 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*

Разработка технологии сырокопченой колбасы «Салями Супер» методом термического воздействия // Вестник ВГУИТ, 2019. № 2 (80). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-syrokopchenoy-kolbasy-salyami-super-metodom-termicheskogo-vozdeystviya>.

7. Давлетова О.А., Запороцкова И.В., Панченко Т.Ф. Исследование процесса фторирования и сульфидирования пиролизованного полиакрилонитрила // NBI-technologies, 2013. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-protsessafitorirovaniya-i-sulfidirovaniya-pirolizovannogo-poliakrilonitrila>.

6. Manheem K., Adiamo O., Roobab U., Moh-teshamuddin K., Hassan H.M., Nirmal N.P., Maqsood S. A Comparative Study on Changes in Protein, Lipid and Meat-Quality Attributes of Camel Meat, Beef and Sheep Meat (Mutton) during Refrigerated Storage. *Animals (Basel)*. 2023 Mar 2;13(5):904. doi: 10.3390/ani13050904. PMID: 36899761; PMCID: PMC1000245.

7. Li Q., Yang L., Li R., Chen G., Dong J., Wu L., Fu Y. and Yang J. (2023). Lipid analysis of meat from Bactrian camel (*Camelus bactrianus*), beef, and tails of fat-tailed sheep using UPLC-Q-TOF/MS based lipidomics. *Front. Nutr.* 10:1053116. doi: 10.3389/fnut.2023.1053116.

8. Jia W., Di C., Zhang R., Shi L. Application of liquid chromatography mass spectrometry-based lipidomics to dairy products re-search: an emerging modulator of gut microbiota and human metabolic disease risk. *Food Res Int.* (2022) 157:111206. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111206.

### Информация об авторах

*А. Д. Лебедев – аспирант кафедры товарной экспертизы и таможенного дела ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова».*

*С. В. Колобов – доцент кафедры товарной экспертизы и таможенного дела ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», кандидат технических наук, доцент.*

### Information about the authors

*A.D. Lebedev - an Aspirant of the Department of Commodity Expertise and Customs Affairs of the Plekhanov Russian University of Economics.*

*S.V. Kolobov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Commodity Expertise and Customs Affairs of the Plekhanov Russian University of Economics, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.*



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 635.24:663.5:664.696  
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.010



## ВЛИЯНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭКСТРУДАТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СМЕСИ РИСОВОЙ КРУПЫ С ПРОДУКТАМИ БИОКОНВЕРСИИ ТОПИНАМБУРА

Антон Юрьевич Шариков<sup>1</sup>, Мария Валентиновна Амелякина<sup>2</sup>,  
Виктор Витальевич Иванов<sup>3</sup>, Михаил Владимирович Туршатов<sup>4</sup>,  
Александр Олегович Соловьев<sup>5</sup>, Ирина Михайловна Абрамова<sup>6</sup>

1, 2, 3, 4, 5, 6 ВНИИПБТ – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

<sup>1</sup> anton.sharikov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

<sup>2</sup> foodbiotech@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>

<sup>3</sup> ivanov.v.v@li.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

<sup>4</sup> lab78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1277-5498>

<sup>5</sup> lab78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2666-6890>

<sup>6</sup> 4953624495@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

**Аннотация.** Перспективность переработки топинамбура на спирт и его использования в других технологиях биоконверсии показана многими исследованиями, при этом актуальной задачей является утилизация образуемых вторичных сырьевых ресурсов. Целью данного исследования стало изучение влияния влагосодержания смесей рисовой крупы и 6 % высушенной дисперсной фракции топинамбура, образуемой в процессе его переработки на спирт, на режимы экструзии, технологические показатели экструдатов, рассматриваемых как основа для продуктов быстрого приготовления. Полученные экструдаты оценивали по следующим качественным характеристикам: коэффициент расширения, насыпная плотность, твердость, количество микроразломов, цветовые характеристики в системе CIE Lab, растворимость, набухаемость. Проведенные исследования показали, что со снижением влажности с 20 % до 12,5 % происходило ужесточение режима экструзии, повышалась температура со 155 до 170 °С, давление с 2,0 до 4,0 МПа, момент сдвиговых деформаций с 48 до 80 %, удельная механическая энергия на 67 % с 0,109 до 0,182 кВт·час/кг. Уровень влагосодержания экструдированных смесей прямо коррелировал с насыпной плотностью экструдатов и их твердостью, которые увеличивались с 73,5 до 227,2 г/дм<sup>3</sup> и с 4,4 до 41,7 Н соответственно, с ростом влагосодержания – с 12,5 до 20 %. Для других показателей отмечена обратная корреляция, количество микроразломов снижается с 11,8 до 4,7, коэффициент расширения с 13,7 до 4,1, показатель набухаемости с 10,4 до 7,2 см<sup>3</sup>/г и растворимости с 80 до 49 %. Динамическая вязкость суспензий экструдатов, имитирующих приготовление быстрорастворимых каш в бытовых условиях, снижалась с 3,3 до 2,0 Па·с со снижением влагосодержания. Установлено, что внесение дисперсной фракции топинамбура повышает пористость продукта, оказывает изменения на цветовые характеристики образцов. Исследованиями показана перспективность использования дисперсной фракции топинамбура в экструзионной технологии продуктов быстрого приготовления с целью повышения содержания пищевых волокон.

**Ключевые слова:** топинамбур, технология спирта, дисперсная фракция, вторичные сырьевые ресурсы, экструзия, качественные показатели, инстант-продукты.

**Для цитирования:** Влияние влагосодержания на качественные показатели экструдатов в технологии переработки смеси рисовой крупы с продуктами биоконверсии топинамбура / А.Ю. Шариков [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 66–72. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.010, EDN: <https://elibrary.ru/SWASNU>.

Original article

## INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT ON QUALITY INDICATORS OF RICE EXTRUDATES WITH JERUSALEM ARTICHOKE BY PRODUCTS OBTAINED IN ETHANOL TECHNOLOGY

Anton Y. Sharikov<sup>1</sup>, Maria V. Amelyakina<sup>2</sup>, Viktor V. Ivanov<sup>3</sup>,  
Mikhail V. Turshatov<sup>4</sup>, Alexander O. Solovyov<sup>5</sup>, Irina M. Abramova<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> VNIIPBT is a branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

<sup>1</sup> anton.sharikov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

<sup>2</sup> foodbiotech@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>

<sup>3</sup> ivanov.v.v@li.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

<sup>4</sup> lab78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1277-5498>

<sup>5</sup> lab78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2666-6890>

<sup>6</sup> 4953624495@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

**Abstract.** *The prospects of processing Jerusalem artichoke into alcohol and its use in other bioconversion technologies have been shown by many studies. The actual task is the utilization of the generated by-products. The aim of the work was to study the influence of the moisture content of mixtures of rice cereal and 6 % of the dried dispersed fraction of Jerusalem artichoke as by-product of alcohol technology on extrusion modes, technological parameters of extrudates considered as the basis for instant products. The resulting extrudates were evaluated according to the following qualitative characteristics: expansion index, bulk density, hardness, number of microfractures, color characteristics in the CIE Lab system, solubility, swelling. The results showed that key extrusion indicators increased with a decrease in moisture of mixture from 20 % to 12.5 %: the extrusion temperature - from 155 to 170 ° C, pressure - from 2.0 to 4.0 MPa, torque - from 48 to 80 %, and specific mechanical energy - by 67 % from 0.109 to 0.182 kW·h/kg. The level of moisture content correlated with the bulk density of extrudates and their hardness, which increased from 73.5 to 227.2 g/dm<sup>3</sup> and from 4.4 to 41.7 N, respectively with an increase in moisture content from 12.5 to 20 %. An inverse correlation was noted for other indicators: the number of microfractures decreases from 11.8 to 4.7, the expansion coefficient from 13.7 to 4.1, the swelling index from 10.4 to 7.2 cm<sup>3</sup>/g and solubility from 80 to 49 %. The dynamic viscosity of extrudate suspensions simulating the preparation of instant porridges in domestic conditions decreased from 3.3 to 2.0 Pa s with a decrease in moisture content. It has been established that the introduction of a dispersed fraction of Jerusalem artichoke increases the porosity of the product and changes the color characteristics of the samples. Research has shown the prospects of using the dispersed fraction of Jerusalem artichoke in the extrusion technology of instant products in order to increase the content of dietary fiber.*

**Keywords:** *Jerusalem artichoke, alcohol technology, dispersed fraction, secondary raw materials, extrusion, quality indicators, instant products.*

**For citation:** Sharikov, A.Yu., Amelyakina, M.V., Ivanov, V.V., Turshatov, M.V., Solovyov, A.O. & Abramova, I.M. (2024). Influence of moisture content on qualitative indicators of extrudates in technology of processing a mixture of rice groats with Jerusalem artichoke bioconversion products. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 66-72. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.010. EDN: <https://elibrary.ru/SWASNU>.

### ВВЕДЕНИЕ

Спрос на крупы и каши, в том числе быстрого приготовления, в России традиционно находится на высоком уровне [1, 2, 3]. Это обусловлено и культурной традицией, а в отношении продуктов быстрого приготовления – различными ситуациями потребления, связанными с ускорением темпа жизни, урбанизацией, самостоятель-

ным туризмом, для которого характерно увеличение в рационе доли таких продуктов. Одной из технологий производства пищевых концентратов быстрого приготовления, восстанавливаемых водой, является варочная экструзия. Экструзионная технология, предполагающая кратковременную комплексную гидротермомеханическую обработку сырья, обладает рядом преимуществ по отношению к классическим процессам получения



инстант-продуктов, к которым относятся низкие энергозатраты и потери сырья, высокие производительность и эффективность переработки, универсальность технических решений [4, 5]. В аспекте химических изменений сырья экструзия переводит крахмал в растворимое желатинизированное состояние, повышает переваримость белка, элиминирует антипитательные факторы [6, 7]. В современной научной литературе встречается ряд публикаций, посвященных экструзионному способу получения каш быстрого приготовления, в рамках которых исследуется использование различных видов сырья, разрабатываются рецептуры пищекопцентратов с повышенной питательной ценностью, исследуются режимы экструзии [8, 9].

Одним из нестандартных видов сырья в технологии каш быстрого приготовления является топинамбур, при этом известны технические решения их получения как традиционными способами, так и с применением экструзии [10, 11]. Перспективность использования топинамбура в качестве функционального ингредиента обусловлена его пищевой и биологической ценностью: высоким содержанием инулина, белка, биологических активных и минеральных веществ, антифунгистическими, антиканцерогенными и антиоксидантными свойствами [12]. Актуальным направлением является рациональное использование продуктов переработки топинамбура в рамках комплексной технологии получения спирта [13] с получением целевого продукта и дополнительных продуктов переработки на основе утилизации образующихся вторичных сырьевых ресурсов.

**Цель исследования:** изучение влияния определяемых изменением влагосодержания режимов экструзионной переработки смесей рисовой крупы и высушенной дисперсной фракции топинамбура, образуемой в процессе его переработки на спирт, на технологические показатели экструдатов, рассматриваемых как основа для продуктов быстрого приготовления.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использовали рисовую крупу, экспериментальную смесь формировали добавлением к ней 6% дисперсной фракции топинамбура, отобранной на стадии гидроизмельчения в технологическом процессе переработки корнеплода на спирт. Свежие клубни топинамбура сорта Находка с содержанием сухих веществ 25,2% промывали проточной водой и подвергали механической очистке, после чего производили их измельчение на роторном диспергаторе IKA®-Werke Ultra-Turrax® T 25 basic до фракции, проход

которой через сито с диаметром ячейки 3 мм составлял не менее 95%. Полученную мезгу смешивали с водой в соотношении 1:1 и вносили ферментный препарат Viscozyme® HT FG как источник ксиланазы и целлюлазы в дозировке 0,25 ед КС/г сухих веществ. Воднотепловую и ферментативную обработку сырья проводили в два этапа: первый – 40 минут при температуре 50 °С; второй – 180 минут при температуре 90 °С. Затем разваренную массу охлаждали до 55 °С и проводили осахаривание в течение 60 минут с применением ферментного препарата Novozym 960 как источника инулазы в дозировке 0,5 ед. INU/г инулина. После охлаждения производили разделение массы на дисперсную и жидкую фазы сула при помощи лабораторной центрифуги. Жидкая фаза подвергалась дальнейшему сбраживанию с получением этилового спирта, а дисперсную фазу высушивали до содержания влаги более 10% и использовали для формирования экспериментальных смесей для экструзии.

Гидротермомеханическую переработку смесей проводили на двухшнековом экструдере Werner & Phleiderer Continua 37. Производительность экструдера и скорость вращения шнеков были постоянными и составляли 20 кг/час и 240 об/мин соответственно. Влагосодержание варьировалось в диапазоне 12,5–20% с шагом 2,5%. Для формования стренга экструдата была установлена фильера с двумя отверстиями круглого сечения диаметром 4 мм.

Удельную механическую энергию рассчитывали по формуле [14]:

$$SME = \frac{n}{n_{max} \times Kg} \times N \times M,$$

где SME – удельная механическая энергия на экструдирование, кВт\*час/кг сырья; N – мощность двигателя экструдера, кВт; M – момент на валу редуктора; n и n<sub>max</sub> – скорость вращения шнеков установленная и максимальная, соответственно, об/мин; Kg – производительность по сырью, кг/ час.

Коэффициент расширения экструдатов рассчитывали по соотношению площадей сечения экструдата и отверстия фильеры. Структурно-механические свойства образцов оценивали с использованием анализатора СТЗ (Brookfield, США) с металлическим цилиндрическим зондом диаметром 3 мм. В качестве технологических показателей продукта рассматривали показатели твердости и количества микроразломов, характеризующего хрусткость продукта. Цветовые показатели оценивали колориметрическим методом с использованием анализатора CS-10 (CS-10

**ВЛИЯНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭКСТРУДАТОВ  
В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СМЕСИ РИСОВОЙ КРУПЫ С ПРОДУКТАМИ  
БИОКОНВЕРСИИ ТОПИНАМБУРА**

(Hangzhou CHN Spec Technology, Китай) в системе CIE LAB, где  $L^*$  – является характеристикой светлоты,  $a^*$  – коэффициент спектрального отражения в диапазоне от зеленого до красного,  $b^*$  – коэффициент спектрального отражения в диапазоне от синего до желтого.

Для определения растворимости, набухаемости и реологических характеристик водных суспензий экструдат измельчали до тонины помола менее 400 мкм. Готовили суспензию с содержанием 10 % сухих веществ. Растворимость определяли по содержанию растворимых сухих веществ в фугате после центрифугирования суспензии при  $3000 \times g$  [15]. Для определения набухаемости суспензию переносили в мерный цилиндр объемом  $100 \text{ см}^3$  и оставляли на 24 часа, затем отмечали границу раздела двух фаз. При полном набухании наблюдалось равномерное распределение экструдата по всему объему. При неполном набухании в цилиндре образуются две фазы: верхняя жидкая прозрачная, почти не содержащая продукта, и нижняя непрозрачная с набухшим продуктом. При неполном набухании набухаемость продукта в  $\text{см}^3/\text{г}$  вычисляли отношением объема продукта после отстаивания к массе навески.

Для определения реологических свойств суспензий, имитирующих доведение инстант-продукта до готовности, в емкость заливали 90 г воды с температурой 95–98 °С и при по-

стоянном перемешивании добавляли 30 г экструдата. После интенсивного перемешивания температуру смеси снижали до 24 °С и производили измерение динамической вязкости синусоидальным вискозиметром SV-10 (AND, Япония) при частоте 30 Гц.

Достоверность различий средних проводили методами факторного дисперсионного анализа и апостериорного анализа по критерию Тьюки при  $p < 0,05$  с использованием пакета программ Statistica 6.0.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Смесь рисовой крупы с высушенной фракцией топинамбура экструдировали при различных режимных параметрах, ключевым из которых являлось влагосодержание, изменение которого от 20 до 12,5 % определяло изменение таких факторов, как давление, момент сдвиговых деформаций, температуру экструзии, т.е. непосредственно определяло режим экструзии. Контрольными являлись образцы экструдатов рисовой крупы, полученные при влагосодержании 20 %.

В таблице 1 приведены данные по зависимости основных показателей экструзии экспериментальной смеси от влагосодержания. Его снижение с 20 до 12,5 % значительно повысило температуру экструзии со 155 до 170 °С, давление с 2,0 до 4,0 МПа, момент сдвиговых деформаций с 48 до 80 %.

Таблица 1 – Режимы экструзии  
Table 1 – Extrusion modes

Вариант смеси	Рисовая крупа	Рисовая крупа с гидролизатом топинамбура			
		20,0	17,5	15,0	12,5
Влагосодержание, %	20,0	20,0	17,5	15,0	12,5
Момент, %	44±3 <sup>A</sup>	48±3 <sup>A</sup>	50±4 <sup>A</sup>	62±4	80±5
Давление, МПа	2,0±0,1 <sup>A</sup>	2,0±0,1 <sup>A</sup>	3,2±0,1	3,5±0,1	4,0±0,2
Температура, °С	150±3 <sup>A</sup>	155±3 <sup>AB</sup>	163±5 <sup>BC</sup>	165±4 <sup>CD</sup>	170±5 <sup>D</sup>
Удельная механическая энергия, кВт·час/кг	0,100±0,007 <sup>A</sup>	0,109±0,007 <sup>A</sup>	0,114±0,009 <sup>A</sup>	0,133±0,009	0,182±0,011

\*Значения с одинаковым буквенным индексом не имеют статистически достоверного различия при  $p < 0,05$

Удельная механическая энергия с ростом влагосодержания повысилась на 67 % с 0,109 до 0,182 кВт·час/кг. Необходимо отметить, что в сравнении с контрольным образцом на уровне влагосодержания 20 % рассматриваемые значения показателей экструзии значительно не отличаются.

На рисунке 1 представлены изображения полученных образцов экструдатов.

Зависимость структурно-механических показателей экструдатов, определяемые изменением режимных параметров экструзии, приведена в таблице 2. Снижение влажности экструдированной смеси вызвало снижение насыпной плотности экструдатов с 227,2 до 73,5 г/дм<sup>3</sup>, твердость экструдатов при этом снизилась практически в 9,5 раз: с 41,7 до 4,4 Н.

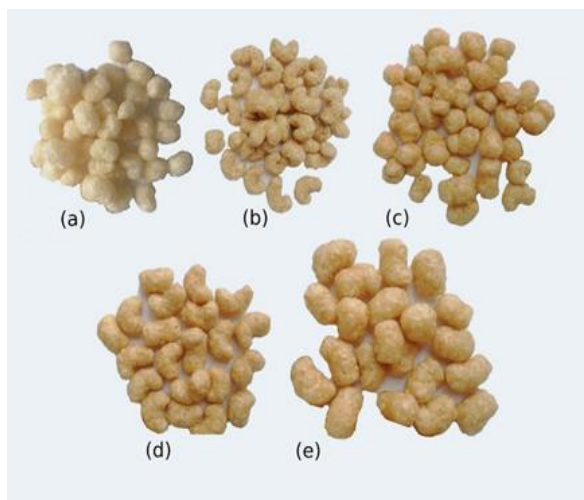


Рисунок 1 – Фото экструдатов с гидролизатом топинамбура: а – экструдаты рисовой крупы, полученные при влажосодержании 20 %; экструдаты с гидролизатом топинамбура полученные при влажосодержании: б – 20 %; с – 17,5 %; д – 15 %; е – 12,5 %

Figure 1 – Photo of extrudates with Jerusalem artichoke hydrolysate: а – rice grain extrudates obtained with a moisture content of 20 %; jerusalem artichoke hydrolysate extrudates obtained with a moisture content of: б – 20 %; с – 17.5 %; д – 15 %; е – 12.5 %

Таблица 2 – Влияние режима экструзии на структурно-механические свойства экструдатов  
Table 2 – The effect of the extrusion regime on the structural and mechanical properties of extrudates

Вариант смеси	Рисовая крупа	Рисовая крупа с дисперсной фракцией топинамбура			
		20,0	17,5	15,0	12,5
Влажосодержание, %	20,0	20,0	17,5	15,0	12,5
Насыпная плотность гранул, г/дм <sup>3</sup>	206,9±1,7	227,2±3,7	125,8±1,9	109,9±4,4	73,5±2,2
Коэффициент расширения	6,9±1,0	4,1±0,4	8,0±0,95 <sup>A</sup>	7,5±0,7 <sup>A</sup>	13,7±2,1
Твердость, Н	35,7±5,7 <sup>A</sup>	41,7±3,2 <sup>A</sup>	10,0±3,5 <sup>B</sup>	8,9±0,8 <sup>B</sup>	4,4±1,0
Количество микроразломов	2±0,6	4,7±0,8	9,3±1,4 <sup>A</sup>	11,7±1,0 <sup>A</sup>	11,8±1,0 <sup>A</sup>

\* Значения с одинаковым буквенным индексом не имеют статистически достоверного различия при  $p < 0,05$

При этом для уровней влажности в диапазоне 12,5–17,5 % характеристика *b* значительно не изменяется. Значение характеристики *a* в целом близко к показателям контрольного

образца при влажности экструзии 20 %, но изменяется при варьировании режимом экструзии.

Обратная тенденция отмечена для показателей квадратичного коэффициента расширения и количества микроразломов, характеризующего пористость экструдатов. Снижению влажосодержания смеси при экструдировании с 20 до 12,5 % соответствовали рост коэффициента расширения с 4,1 до 13,7, т.е. в 3,3 раза, и увеличение количества микроразломов с 4,7 до 11,8, т.е. в 2,5 раза. Отмечено, что при более воздушной структуре, характеризующейся меньшей насыпной плотностью, твердостью гранул и большим коэффициентом расширения, контрольный образец характеризуется меньшим количеством микроразломов, т.е. менее развитой внутренней пористой структурой. Это может объясняться тем, что внесение дисперсной фракции топинамбура повышает в смеси количество точек взрывного парообразования, которыми являются частицы клетчатки, и при переходе расплава смеси, находящегося под давлением в камере экструдера, в атмосферное давление количество пор возрастает.

Анализ цветковых характеристик экструдатов, представленных в таблице 3, показывает, что светлота образцов с внесением гидролизата топинамбура значительно снижается, спектральная цветовая характеристика *b* значительно возрастает и переходит в область желтого.

Таблица 3 – Влияние режима экструзии на цветовые характеристики экструдатов  
Table 3 – Influence of the extrusion mode on the color characteristics of extrudates

Вариант смеси	Рисовая крупка	Рисовая крупка с гидролизатом топинамбура			
		20,0	17,5	15,0	12,5
Влажосодержание, %	20,0	20,0	17,5	15,0	12,5
L	90,5±0,7	72,9±1,2	76,6±0,6 <sup>A</sup>	76,0±1,1 <sup>A</sup>	78,0±0,6
a	1,7±0,5 <sup>A</sup>	1,5±0,2 <sup>A</sup>	4,5±0,3	3,3±0,2 <sup>B</sup>	2,9±0,2 <sup>B</sup>
b	7,9±0,2	18,2±1,0	21,9±1,0 <sup>A</sup>	21,9±0,6 <sup>A</sup>	21,7±0,2 <sup>A</sup>

\* Значения с одинаковым буквенным индексом не имеют статистически достоверного различия при  $p < 0,05$

## ВЛИЯНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭКСТРУДАТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СМЕСИ РИСОВОЙ КРУПЫ С ПРОДУКТАМИ БИОКОНВЕРСИИ ТОПИНАМБУРА

В аспекте разработки продуктов быстрого приготовления в формате каш, требующих только гидратации смеси, особую важность играют технологические показатели, характеризующие реологические и гидратирующие свойства экструдатов. Помолы экструдатов с гидролизатом топинамбура тониной помола менее 400 мкм, рассматриваемые в качестве основы для инстант-продуктов, оценивали по изменению набухаемости, растворимости и динамической вязкости, данные по которым представлены в таблице 4. Для имитации

приготовления продукта в бытовых условиях помол экструдата заливали горячей водой. Результаты исследования образцов показали, что со снижением содержания влажности в камере экструдера происходило ужесточение режима экструзии, вследствие этого отмечено значимое увеличение набухаемости с 7,2 до 10,4 см<sup>3</sup>/г и растворимости с 49 до 80 %, что обусловлено более полной клейстеризацией крахмала с ростом температуры и степени гидротермомеханического воздействия на сырье при меньшем влагосодержании.

Таблица 4 – Влияние режима экструзии на реологические характеристики основы для инстант-продукта

Table 4 – Effect of the extrusion mode on the rheological characteristics of the base for the instant product

Вариант смеси	Рисовая крупа	Рисовая крупа с дисперсной фракцией топинамбура			
		20,0	17,5	15,0	12,5
Влагосодержание, %	20,0	20,0	17,5	15,0	12,5
Набухаемость, см <sup>3</sup> /г	8±0,4 <sup>A</sup>	7,2±0,3 <sup>B</sup>	7,8±0,4 <sup>AB</sup>	8,0±0,4 <sup>A</sup>	10,4±0,6
Растворимость, %	57,5±3,3	49±2,8	78±4,8 <sup>A</sup>	81±4,5 <sup>A</sup>	80±4,6 <sup>A</sup>
Вязкость при 24 °С, Па·с	3,4±0,2 <sup>A</sup>	3,3±0,2 <sup>A</sup>	2,3±0,3 <sup>B</sup>	2,3±0,3 <sup>B</sup>	2,0±0,2 <sup>B</sup>

\*Значения с одинаковым буквенным индексом не имеют статистически достоверного различия при  $p < 0,05$

Вязкость суспензий при этом снизилась с 3,3 до 2,0 Па·с, но значения вязкости для образцов, полученных при влагосодержании от 17,5 до 12,5 %, значимо не отличаются. Вязкость суспензий данных опытных образцов была ниже контроля. По литературным данным, вязкость каш, например, для потребления детьми, должна находиться в диапазоне 1–3 Па·с [16], это в целом соответствует полученным экспериментальным значениям.

ления, со снижением влажности при экструзии также значимо изменяются: значимо увеличивается растворимость, набухаемость, вязкость суспензий, приготовленных горячим способом, при этом значительно снижается.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00159, <https://rscf.ru/project/22-16-00159/>.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование дисперсной фракции топинамбура, образуемой в качестве вторичного сырьевого ресурса при переработке на спирт, в технологии продуктов быстрого приготовления с целью повышения содержания пищевых волокон возможно с использованием технологии экструзии. Исследование влияния влагосодержания экструдированной смеси показали значимое влияние на режимы гидротермомеханического процесса и свойства экструдатов. Снижение влагосодержания с 20 до 12,5 % повышает температуру и давление экструзии, удельную механическую энергию. В аспекте изменения свойств экструдатов отмечается повышение коэффициента расширения, пористости гранул, количества микроразломов, при этом снижаются их твердость и насыпная плотность. Свойства помолов экструдатов, которые рассматриваются как основа для продуктов быстрого приготовления

*POLZUNOVSKIY VESTNIK № 4 2024*

1. Рудась П.Г. Маркетинговые исследования российского рынка пищевых продуктов быстрого приготовления // Известия вузов. Пищевая технология. 2006. № 4. С. 108-110
2. Мелешкина Л.Е., Иунихина В.С., Вайтанис М.А. Изменение углеводного комплекса перловой и гречневой крупы быстрого приготовления в процессе баротермического текстурирования // Ползуновский вестник. 2012. № 2/2. С. 117-121.
3. Булганина С.В., Лебедева Т.Е., Голованова С.О., Домнина А.И. Рынок круп в России: динамика развития и факторы спроса // Московский экономический журнал. 2020. № 2. С. 249-256.
4. Adekola, K.A. (2016). Engineering Review Food Extrusion Technology and Its Applications // Journal of Food Science and Engineering. 2016. № 6. P. 149-168. DOI: 10.17265/2159-5828/2016.03.005.
5. Vivian Offiah, Vassilis Kontogiorgos & Kolawole O. Falade. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. V. 59. № 18. P. 2979-2998. DOI: 10.1080/10408398.2018.1480007
6. Шариков А.Ю., Амелякина М.В. Модификация углеводов сельскохозяйственного сырья в процессе термомеханической экструзии (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 6. С. 795-803. DOI:

10.30766/2072-9081.2021.22.6.795-803.

7. Singh, Shivendra & Gamlath, Shirani & Wakeling, Lara. Nutritional aspects of Food extrusion: A review // International Journal of Food Science & Technology. 2007. V. 42. P. 916- 929. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x.

8. Nyombaire, George & Siddiq, Muhammad & Dolan, K.D. Physico-chemical and sensory quality of extruded light red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) porridge // LWT - Food Science and Technology. 2011. V. 44. № 7. P. 1597-1602. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.02.016.

9. Akande, Olamide A [et al.]. Optimization of extrusion conditions for the production of instant grain amaranth-based porridge flour // Food science & nutrition. 2017. V. 5. № 6. P. 1205-1214. doi: 10.1002/fsn3.513.

10. Патент № 2541402 Российская федерация, Способ производства каш с топинамбуром / В.Н. Макаров, М.Ю. Акимов, Л.Н. Влазнева, В.А. Кольцов // заявитель и патентообладатель Мичуринский государственный аграрный университет. № 2013141384; приоритет от 09.09.2013; зарегистрировано 29.12.2014 г.

11. Kim H.S., Hwang E.S. Quality Characteristics and Antioxidant Activity of Brown Rice Porridge Supplemented with Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) // Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition. 2022. V. 51. № 4. P. 352-359. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2022.51.4.352>.

12. Sawicka B., Skiba D., Pszczółkowski P., Aslan I., Sharifi-Rad J., Krochmal-Marczak B. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a medicinal plant and its natural products // Cellular and molecular biology Noisy-le-Grand. 2020. V. 66. № 4. P. 160-177.

13. Абрамова И.М., Туршатов М.В., Кривченко В.А. [и др.]. Исследование биохимического состава топинамбура и получаемых на его основе этилового спирта и пищевых функциональных продуктов // Биотехнология. 2022. Т. 38. № 4. С. 56-61. DOI 10.56304/S0234275822040020.

14. Ainsworth P., Ibanoglu S., Plunkett A., Ibanoglu E. & Stojceska V. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack // Journal of Food Engineering. 2007. V. 81. № 4. P. 702-709. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>.

15. Stojceska V., Ainsworth P., Plunkett A., Ibanoglu S. The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products // Food Chemistry. 2010. V. 121. № 1. P. 156-164. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.12.024.

16. Mosha A., Svanberg U. Preparation of Weaning Foods with High Nutrient Density Using Flour of Germinated Cereals // Food and Nutrition Bulletin. 1983. T. 5. № 2. P. 10-14.

### **Информация об авторах**

А. Ю. Шариков – к.т.н., зав. отделом оборудования пищевых производств и мембранных технологий ВНИИПБТ – филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи.

М. В. Амелякина – к.т.н., старший научный сотрудник отдела оборудования пищевых произ-

водств и мембранных технологий ВНИИПБТ – филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи.

В. В. Иванов – к.т.н., ведущий научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий ВНИИПБТ – филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи.

М. В. Туршатов – к.т.н., заведующий отделом технологии спирта и комплексной переработки сырья ВНИИПБТ – филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи.

А. О. Соловьев – младший научный сотрудник лаборатории комплексной переработки сырья ВНИИПБТ – филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи.

И. М. Абрамова – д.т.н., директор ВНИИПБТ – филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи.

### **Information about the authors**

A.Yu. Sharikov - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies at VNIIPBT - branch of the FSBIS "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety".

M.V. Amelyakina - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies of VNIIPBT - branch of the FSBIS "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety".

V.V. Ivanov - Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher at the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies of VNIIPBT - branch of the FSBIS "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety".

M.V. Turshatov - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Alcohol Technology and Complex Processing of Raw Materials, VNIIPBT - branch of the FSBIS "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety".

A.O. Solovyov - Junior Researcher at the Laboratory of Complex processing of raw materials VNIIPBT - branch of the FSBIS "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety".

I.M. Abramova - Doctor of Technical Sciences, Director of VNIIPBT - branch of the FSBIS "Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 28 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 637.521.473

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.011



## МЯСНЫЕ РУБЛЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Марина Александровна Вайтанис<sup>1</sup>, Зоя Рафаиловна Ходырева<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1,2</sup> Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> gazenauer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>.

<sup>2</sup> rafailovna-1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6459-0271>

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность создания мясных рубленых изделий из мяса кролика функционального назначения. Целью работы является разработка изделий (котлет) из мяса кролика с конопляной мукой функционального назначения. Объект исследования – котлеты из мяса кролика с частичной заменой мясной части на конопляную муку. Предмет исследования – пищевая и энергетическая ценность рубленых изделий из мяса кролика с конопляной мукой; физиологические эффекты, формируемые при употреблении котлет; цветовая индикация на маркировке изделий; показатели микробиологической безопасности приготовленных котлет в процессе их хранения. Рекомендована рецептура рубленых изделий (котлет) из мяса кролика с частичной заменой мясной части на конопляную муку, имеющую функциональную направленность. По результатам исследования было установлено, что котлеты из мяса кролика с заменой мясной части на 15 % конопляную муку в количестве 100 г позволяют восполнить суточную норму в белке, в витаминах: А, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>4</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>9</sub>, в макроэлементах: натрии, фосфоре и в микроэлементах: железе, меди, селене, цинке и молибдене. Проведена оценка микробиологической безопасности котлет из мяса кролика с конопляной мукой в процессе хранения.

**Ключевые слова:** мясо кролика, конопляная мука, рубленые изделия, котлеты, функциональное назначение, микробиологические показатели.

**Для цитирования:** Вайтанис М. А., Ходырева З. Р. Мясные рубленые изделия функционального назначения // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 73–78. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.011, EDN: <https://elibrary.ru/BTHEQH>.

Original article

## MINCED MEAT PRODUCTS FOR FUNCTIONAL PURPOSES

Marina A. Vaytanis<sup>1</sup>, Zoja R. Khodyreva<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russia

<sup>1,2</sup> Altai State University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> gazenauer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>.

<sup>2</sup> rafailovna-1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>.

**Abstract.** The article considers the possibility of creating minced meat products from rabbit meat for functional purposes. The aim of the work is to develop products (cutlets) from rabbit meat with hemp flour for functional purposes. The object of the study is rabbit meat cutlets with partial replacement of the meat part with hemp flour. The subject of the study is the nutritional and energy value of chopped rabbit meat products with hemp flour; physiological effects formed when eating cutlets; color indication on product labeling; indicators of microbiological safety of cooked cutlets during their storage. The formulation of chopped products (cutlets) from rabbit meat with partial replacement of the meat part with hemp flour, which has a functional orientation, is recommended. According to the results of the study, it was found that rabbit meat cutlets with the replacement of the meat part with 15% hemp flour in the amount of 100 g make it possible to replenish the daily norm in protein, in vitamins:

© Вайтанис М. А., Ходырева З. Р., 2024

*A, B2, B3, B4, B5, B9, in macronutrients: sodium, phosphorus and trace elements: iron, copper, selenium, zinc and molybdenum. The microbiological safety of rabbit meat cutlets with hemp flour during storage was assessed.*

**Keywords:** rabbit meat, hemp flour, chopped products, cutlets, functional purpose, microbiological indicators.

**For citation:** Vaytanis, M.A. & Khodyreva, Z.R. (2024). Minced meat products for functional purposes. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 73-78. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.011. EDN: <https://elibrary.ru/BTHEQH>.

## ВВЕДЕНИЕ

Для своего развития и функционирования человек должен постоянно получать белки животного и растительного происхождения.

Несмотря на растущий спрос на мясо кролика и увеличение производственных мощностей, данный вид мяса занимает второстепенное место как по производству, так и по потреблению в сравнении с другими видами диетического мяса (курица, индейка). В России спрос на мясо кролика составляет более 300 тыс. тонн в год, что соответствует 2–2,5 кг в расчете на одного жителя страны [1–5].

Крольчатину перерабатывают на различные полуфабрикаты, такие как крупнокусковые, мелкокусковые и рубленые с дополнениями как животного, так и растительного происхождения. Из крольчатины производят мясные продукты, такие как ветчину, колбасы, консервные изделия и готовые блюда [1–3, 6, 7].

Мясо кролика широко применяют в диетическом и лечебном питании. В нем содержатся полноценные белки, полиненасыщенные жирные кислоты, витамины, макро- и микроэлементы [1–3, 6, 7, 8]. Мясо кролика лучше усваивается организмом человека (90 %) в сравнении с говядиной (62 %). Кроме того, в нем отмечается низкий уровень содержания жира, холестерина и солей натрия.

Неблагоприятное воздействие на здоровье человека оказывает множество факторов, важным из которых является питание. Снижение количества алиментарно-зависимых заболеваний возможно за счет сбалансированного питания, употребления на регулярной основе функциональных пищевых продуктов, обогащенных жизненно необходимыми макро- и микроэлементами, способных выводить токсичные вещества из организма человека [1, 3]. Поэтому разработка рецептур рубленых изделий из мяса кролика с растительным сырьем является актуальным.

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка функционального назначения мясных рубленых изделий с оценкой

ожидаемых физиологических эффектов при их систематическом потреблении.

## ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

- составить рецептуру котлет на основе мяса кролика с частичной заменой мясной части на конопляную муку;
- определить расчетным способом пищевую ценность котлет из мяса кролика с конопляной мукой;
- установить ожидаемые физиологические эффекты, формируемые при систематическом потреблении мясных изделий;
- определить показатели качества котлет в процессе хранения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При составлении рецептуры использовали следующее сырье: тушки кролика охлажденные; конопляную муку (производитель ООО «Компас Здоровья») и другие ингредиенты по качеству, соответствующие требованиям нормативно-технической документации [9, 10].

Показатели качества рубленых изделий (котлет) определяли по общепринятым методикам [11].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С учетом требований ГОСТ Р 55577-2013 осуществляли проектирование рецептур рубленых изделий (котлет) [12]. Замена мяса кролика на конопляную муку в количестве 30 % способствует увеличению основных функционально-технологических показателей в сравнении с контрольным образцом (без замены мясной части на конопляную муку) [8, 9]. Кроме того, данная замена мясной части на растительное сырье приводит к повышению адгезии, которая увеличивается на 47,2 Па, поэтому были проведены исследования по подбору панировочных ингредиентов. В качестве панировочных ингредиентов использовали безглютеновую муку.

В результате проведенных исследований было подобрано и обосновано сырье для панировки котлет, которое способствует снижению адгезии. Использование в качестве панировки безглютеновой муки приводит к сниже-



## МЯСНЫЕ РУБЛЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

нию адгезии в полуфабрикатах на 16,9–20,6 Па в сравнении с контрольным образцом (без панировки). Образцы с использованием в качестве панировки амарантовой, конопляной и рисовой муки имеют наилучшие органолептические и адгезионные характеристики.

В ранее проведенных исследованиях было установлено, что наилучшие органолептические характеристики отмечаются у образца с заменой мясной части на конопляную муку в количестве 15 % [8, 9]. В таблице 1 представлена рекомендуемая рецептура рубленых изделий (котлет).

Таблица 1 – Рецептура рубленых изделий (котлет)

Table 1 – The recipe of chopped products (cutlets)

Наименование ингредиентов	Расход сырья и продукта на 1 порцию, г	
	брутто	нетто
Мясо кролика охлажденное	85,3	59,7
Печень говяжья охлажденная	19,8	18,4
Конопляная мука	9,1	9,1
Молоко коровье 3,2 % жирности	5,8	5,8
Лук репчатый свежий	5,4	4,5
Масло сливочное 82,5 % жирности	4,7	4,7
Соль пищевая	0,45	0,45
Перец черный молотый	0,32	0,32
Панировочный ингредиент: амарантовая мука или конопляная мука или рисовая мука	10 10 10	10 10 10
<b>Масса полуфабриката</b>	–	<b>113</b>
Масло подсолнечное	3	3
<b>Выход котлет</b>	–	<b>90</b>

Пищевую ценность котлет из мяса кролика с конопляной мукой определяли расчетным методом, используя таблицы химического состава пищевых продуктов, с учетом потерь при тепловой обработке продуктов (таблица 2). Согласно данным, представленным в таблице 2, получили, что потребление котлет

из мяса кролика с заменой мясной части на 15 % конопляную муку в количестве 100 г позволяет восполнить суточную норму в белке, в витаминах: А, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>4</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>9</sub>, в макроэлементах: натрии, фосфоре, в микроэлементах: железе, меди, селене, цинке и молибдене.

Таблица 2 – Пищевая ценность котлет из мяса кролика с конопляной мукой

Table 2 – Nutritional value of rabbit meat cutlets with hemp flour

Нутриент	Рекомендуемая суточная норма потребления (ТР ТС 022/2011)	Фактическое значение	Обеспечение суточной нормы, %
Белки, г	75,0	17,0	22,7
Жиры, г	83,0	8,8	10,6
Углеводы, г	365,0	3,5	0,96
Ретинол, мкг	800	1094,8	136,9
Рибофлавин, мг	1,6	0,34	21,3
Никотиновая кислота, мг	18,0	4,95	27,5
Холин, мг	500,0	176,2	35,2
Пантотеновая кислота, мг	6,0	1,1	18,3
Фолиевая кислота, мкг	200,0	54,7	27,4
Na, мг	1300,0	199,2	15,3
P, мг	800,0	142,1	17,8
Fe, мг	14,0	5,8	41,4
Cu, мг	1,0	0,9	90,0
Se, мг	0,07	0,011	15,7
Zn, мг	15,0	3,0	20,0
Mo, мкг	70,0	10,9	15,6
Энергетическая ценность/калорийность, ккал/кДж	2500/10467	161/38	6,4

Котлеты из мяса кролика с конопляной мукой являются функциональным пищевым продуктом, обеспечивающим при систематическом потреблении разнообразные физиологические эффекты в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55577-2013 [12].

Согласно МР 2.3.0122-18 [13], рекомендуется выносить на этикетку продукции цветовую индикацию, отмечая содержание жира и соли. Содержание критически значимых пищевых веществ в разработанных рецептурах котлет представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Индикация по цвету на маркировке рубленых изделий (котлет)

Table 3 – Color indication on the marking of chopped products (cutlets)

Пищевые вещества	Установленная величина содержания пищевых веществ (на 100 г изделия) и соответствующая цветовая индикация			Фактическое значение пищевых веществ, г на 100 г изделия
	высокое содержание (красный цвет)	среднее содержание (желтый цвет)	низкое содержание (зеленый цвет)	
Жиры	18 и более	3–18	менее 3	8,8
Натрий	1,75 и более	0,3–1,75	менее 0,3	1,99

По данным, представленным в таблице 3, следует, что разработанные рецептуры котлет из мяса кролика с конопляной мукой необходимо маркировать по жирам желтым цветом, а по натрию – красным. Что свидетельствует о безопасности разработанной продукции в отношении только критически значимого пищевого ве-

щества – жира. В отношении соли пищевой необходимо учитывать ее высокое содержание и регулировать суточное потребление продуктов в рационе.

Была исследована микробиологическая безопасность приготовленных котлет в процессе их хранения (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты микробиологической безопасности котлет

Table 4 – Results of microbiological safety of cutlets

Показатели качества	Норма по ТР ТС 021/2011, ТР ТС 034/2013	Котлеты	
		без замены мясной части на конопляную муку	с заменой мясной части на 15 % конопляную муку
на начало срока хранения			
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, не более	2·10 <sup>6</sup>	3,2·10 <sup>3</sup>	3,4·10 <sup>3</sup>
Бактерии группы кишечной палочки, г/см <sup>3</sup> в 1 г	не допускается	не обнаружено	не обнаружено
Плесень, КОЕ/г, не более	500	не обнаружено	не обнаружено
после 36 часов хранения (температура плюс 4±2 °С)			
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, не более	2·10 <sup>6</sup>	4,1·10 <sup>3</sup>	3,8·10 <sup>3</sup>
Бактерии группы кишечной палочки, г/см <sup>3</sup> в 1 г	не допускается	не обнаружено	не обнаружено
Плесень, КОЕ/г, не более	500	не обнаружено	не обнаружено

Согласно данным, представленным в таблице 4, котлеты, выработанные по рекомендуемой рецептуре, не снижают санитарно-гигиеническую доброкачественность продукции [9, 10].

В период с 5 по 30 ноября 2023 г. в столовой КГБУ «Служба обеспечения протокола» г. Барнаула были произведены производственные выработки пробных партий рубленых изделий (котлет). Тепловую обработку рубленых полуфабрикатов осуществляли пу-

тем запекания в жарочном шкафу (температура 250–280 °С в течение 10–15 мин.). Степень готовности котлет оценивали по органолептическим показателям и контролировали путем измерения температуры в центре изделий (не ниже 90 °С).

Дегустационную оценку приготовленных котлет из мяса кролика с конопляной мукой осуществляли по 9-балльной шкале при температуре подачи не ниже плюс 65 °С. В ходе проведения дегустационной оценки образцы

котлет из мяса кролика с конопляной мукой получили среднюю оценку – 8,9 баллов, в сравнении с контрольным образцом (без замены мясной части на конопляную муку и без панировки) – 7,1 балла. В соответствии с результатами, полученными при выработке пробных партий рубленых изделий, можно сделать вывод о возможности производства котлет из мяса кролика с внесением конопляной муки в условиях производства.

На котлеты из мяса кролика был разработан и утвержден СТО 02067824-013-2023 «Полуфабрикаты из мяса кролика рубленые охлажденные и замороженные».

Научная новизна результатов исследования была подтверждена патентом на изобретение № 2811139 «Полуфабрикат рубленый из мяса кролика» [14].

### ВЫВОДЫ

Разработаны мясные рубленые изделия функционального назначения. Котлеты из мяса кролика с конопляной мукой функционального назначения обладают разнообразными физиологическими эффектами. Установлено, что котлеты из мяса кролика с заменой мясной части на конопляную муку в количестве 100 г позволяют восполнить суточную потребность в белке, витаминах, макро- и микроэлементах.

На маркировке котлет из мяса кролика, реализуемых в охлажденном или замороженном виде, можно указать желтым цветом содержание жира и красным цветом – соль пищевую.

Котлеты из мяса кролика, выработанные по рекомендуемой рецептуре, не снижают санитарно-гигиеническую доброкачественность продукции в соответствии с действующей нормативной документацией. Проведена производственная апробация рубленых изделий (котлет) в условиях столовой КГБУ «Служба обеспечения протокола» г. Барнаул.

Разработан и утвержден СТО 02067824-013-2023 «Полуфабрикаты из мяса кролика рубленые охлажденные и замороженные».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка технологических подходов к получению мясных систем на основе ресурсов кролиководства и растительных композитов / Е.С. Шенцова, А.В. Востроилов, Е.Е. Курчаева, И.В. Максимов // Вестник ВГУИТ. 2018. № 4. С. 259–268.
2. Cullere, M. & Dalle Zotte, A. (2018). Rabbit meat production and consumption: State of knowledge and future perspectives. *Meat Science*, 143, 137–146 pp.
3. Петрунина И.В., Осянин Д.Н. Перспективы развития производства мяса и мясных продуктов до

2030 года // Все о мясе. 2020. № 5S. С. 261–264. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-261-264>.

4. Rabbit meat production and processing in China / S. Li, W. Zeng, R. Li, L.C. Hoffman, Z. He, Q. Sun & H. Li. *Meat Sci.* 2018. 145. 320–328 pp.

5. Рынок мяса и мясопереработки в России: ключевые показатели и тенденции Источник: Росстат, анализ компании «ИМИТ» [Эл. ресурс]. <https://meat-milk.ru/rynok-mjasa-i-mjasopererabotki-v-rossii-kljuchevye-pokazateli-i-tendencii/>.

6. Тутельян В.А. Химический состав и калорийность Российских пищевых продуктов питания: справочник. М. : Дели плюс, 2012. 284 с.

7. Вайтанис М.А., Ходырева З.Р. Использование конопляной муки при производстве мясных рубленых полуфабрикатов // Вестник КрасГАУ. 2021. № 1. С. 126–133. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-1-126-133>.

8. Вайтанис М.А., Ходырева З.Р. Исследование качества мясорастительных фаршей на основе мяса кролика // Вестник КрасГАУ. 2023. № 9. С. 170–176. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-9-170-176.

9. О безопасности пищевой продукции: технический регламент таможенного союза № 021/2011: [принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880]. Москва: Изд-во стандартов, 2011. 242 с.

10. О безопасности мяса и мясной продукции: технический регламент таможенного союза № 034/2013: [принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 октября 2013 года № 68]. Москва: Изд-во стандартов, 2013. 77 с.

11. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, И.А. Рогов. М. : Колос, 2001. 376 с.

12. ГОСТ Р 55577-2013. Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности. Введ. 2015.01.01. Москва : Стандартинформ, 2013. 9 с.

13. МР 2.3.0122-18. Цветовая индикация на маркировке пищевой продукции в целях информирования потребителя: утверждены руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека – Главным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой от 28.02.2018. 18 с.

14. Патент № 2811139 Российская Федерация, МПК А23L 13/60 (2016.01), А23L 13/60. Полуфабрикат рубленый из мяса кролика: № 2023126900; заявл. 19.10.2023; опубл. 11.01.2023 / Вайтанис М.А., Ходырева З.Р.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ).

### Информация об авторах

*М. А. Вайтанис – к.т.н., доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; доцент кафедры «Рекреационной географии, серви-*

са, туризма и гостеприимства» Алтайского государственного университета.

З. Р. Ходырева – к.т.н., доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; доцент кафедры «Рекреационной географии, сервиса, туризма и гостеприимства» Алтайского государственного университета.

#### REFERENCES

1. Development of technological approaches to obtaining meat systems based on rabbit breeding resources and plant composites / E.S. Shentsova, A.V. Vostroilov, E.E. Kurchaeva, I.V. Maksimov // Vestnik VGUIT. 2018. No. 4. pp. 259-268. (In Russ.).

2. Cullere, M. & Dalle Zotte, A. (2018). Rabbit meat production and consumption: State of knowledge and future perspectives. Meat Science, 143, 137-146.

3. Petrunina, I.V., Osyanin, D.N. (2020). Prospects for the development of meat and meat products production until 2030 // All about meat. No. 5S. 261-264. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-261-264>. (In Russ.).

4. Rabbit meat production and processing in China / S. Li, W. Zeng, R. Li, L.C. Hoffman, Z. He, Q. Sun & H. Li. Meat Sci. 2018. 145. 320-328.

5. Meat and meat processing market in Russia: key indicators and trends Source: Rosstat, IMIT analysis. <https://meat-milk.ru/rynok-mjasa-i-mjasopererabotki-v-rossii-kljuchevye-pokazateli-i-tendencii/>. (In Russ.).

6. Tutelyan, V.A. (2012). Chemical composition and calorie content of Russian food products: handbook. Moscow: Delhi Plus. 4.

7. Vaytanis, M.A. & Khodyreva, Z.R. (2021). The use of hemp flour in the production of minced meat semi-finished products // Bulletin of KrasGAU. No. 1. 126-133. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-1-126-133>. (In Russ.).

8. Vaytanis, M.A. & Khodyreva, Z.R. (2023). The study of the quality of minced meat based on rabbit meat // KrasGAU Bulletin. No. 9. 170-176. DOI: [10.36718/1819-4036-2023-9-170-176](https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-9-170-176). (In Russ.).

9. Technical regulations of the Customs Union. About food safety. (2011). TRTS No. 021/2011 from December 9, 2011. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

10. Technical regulations of the Customs Union. On the safety of meat and meat products: technical regulation of the Customs Union. (2013). TRTS No.034/2013 from October 9, 2013. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

11. Antipova, L.V., Glotova, I.A. & Rogov, I.A. (2001). Methods of research of meat and meat products. Moscow : Kolos. 376. (In Russ.).

12. GOST R 55577-2013. Food products are functional. Information about the distinctive features and effectiveness. Introduction. 2015.01.01. Moscow: Standartinform, 2013. 9. (In Russ.).

13. MP 2.3.0122-18. Color indication on the label of food products in order to inform the consumer: approved by the head of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-being - Chief Sanitary Doctor of the Russian Federation A.Y. Popova dated 02.28.2018. 18. (In Russ.).

14. Patent No. 2811139 Russian Federation, IPC A23L 13/60 (2016.01), A23L13/60. Semi-finished product chopped from rabbit meat: No. 2023126900; application 19.10.2023; publ. 11.01.2023 / Vaytanis M.A., Khodyreva Z.R.; applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Altai State Technical University named after I.I. Polzunov" (AltSTU). (In Russ.).

#### Information about the authors

M.A. Vaytanis - Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Technology of food products" Altai state technical University; associate Professor of the Department "Recreational geography, service, tourism and hospitality" of the Altai state University.

Z.R. Khodyreva - Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Technology of food products" Altai state technical University; associate Professor of the Department "Recreational geography, service, tourism and hospitality" of the Altai state University.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 21 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 21 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*



## РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ГОРЬКОЙ НАСТОЙКИ

Елена Юрьевна Егорова <sup>1</sup>, Александр Евгеньевич Грязнов <sup>2</sup>

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> egorovaeyu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

<sup>2</sup> crazyf17@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена разработке оригинальной рецептуры горькой настойки. Использовано сырье, богатое веществами, способствующими активизации аппетита и выделению пищеварительных ферментов: семена аниса обыкновенного, плоды барбариса и трава мяты перечной. В качестве подслащивающего компонента использован липовый мёд. Основные компоненты горькой настойки – настои аниса, барбариса и мяты – приготовлены методом мацерации ( $25 \pm 2$  °С). Экстрагент – 40 % раствор этилового спирта питьевого качества, гидромодуль экстракции 1:10, рациональная продолжительность выдерживания растительного сырья в контакте с водно-спиртовой смесью – 5 суток.

Исследование физико-химических показателей настоев-экстрактов растительного сырья и приготовленных на их основе купажей горьких настоев осуществляли в соответствии с отраслевыми методиками. Установлено, что для производства горьких настоев на выбранном сырье более целесообразно получение моноэкстрактов. Цвет полученных настоев свидетельствует об эффективном извлечении полифенольных соединений. По эффективности экстракции дубильных веществ лидировали настои мяты (2,5–2,6 % на 4–5 сутки экстракции) и барбариса (2,7–2,8 % на 4–5 сутки экстракции), по эффективности извлечения флавоноидов – настои барбариса (3,5–4,2 мг/100 г экстракта). В составе экстрактивных веществ настоя из аниса (16–16,2 % на 4–5 сутки экстракции) преобладало эфирное масло.

Приготовленные варианты купажей горькой настойки превышают норму по содержанию общего экстракта, что обусловлено долей экстрактов в купажах и может быть оговорено производителем напитков в НТД. Итоговая рецептура горькой настойки рассчитана на крепость 40 % об. Напиток имеет золотисто-кирпичный цвет, сглаженный профиль аромата и гармоничный сладковато-кислый вкус с пряными и свежими нотами, обеспеченными сочетанием растительного сырья и липового мёда. Рекомендуемая суточная норма потребления настойки (20 см<sup>3</sup>) обеспечивает более двух суточных норм дубильных веществ и 1,5 % от суточной нормы флавоноидов, что в сочетании с содержанием органических кислот свидетельствует о достигнутой цели – физиологической функциональности нового напитка.

**Ключевые слова:** импортозамещение, настойки горькие, рецептуры, технология, экстракция, растительное сырье, пищевая ценность, биологически активные вещества.

**Для цитирования:** Егорова Е. Ю., Грязнов А. Е. Разработка рецептуры горькой настойки // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 79–85. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.012, EDN: <https://elibrary.ru/TTGQXR>.

Original article

## DEVELOPMENT OF A BITTER TINCTURE FORMULATION

Elena Yu. Egorova <sup>1</sup>, Alexander E. Gryaznov <sup>2</sup>

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> egorovaeyu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

<sup>2</sup> crazyf17@mail.ru

© Егорова Е. Ю., Грязнов А. Е., 2024

**Abstract.** The article is devoted to the development of the original formulation of bitter tincture. Raw materials rich in substances that help to activate appetite and release digestive enzymes were used: anise seeds, barberry fruits and peppermint grass. Lime honey was used as a sweetening component. The main components of the bitter tincture - infusions of anise, barberry and mint - are prepared by maceration ( $25 \pm 2$  °C). The extractant is a 40% solution of drinking ethyl alcohol, an extraction hydromodule of 1:10, the rational duration of keeping vegetable raw materials in contact with an aqueous alcohol mixture is 5 days.

The study of the physico-chemical parameters of infusions-extracts of vegetable raw materials and blends of bitter tinctures prepared on their basis was carried out in accordance with industry methods. It has been established that for the production of bitter tinctures on selected raw materials, it is more expedient to obtain monoextracts. The color of the infusions obtained indicates the effective extraction of polyphenolic compounds. Mint infusions (2.5-2.6% on 4-5 days of extraction) and barberry (2.7-2.8% on 4-5 days of extraction) were the leaders in terms of the effectiveness of tannin extraction. Barberry infusions (3.5-4.2 mg/100 g of extract) were the leaders in terms of the effectiveness of flavonoid extraction. The composition of the extractive substances of anise infusion (16-16.2 % on 4-5 days of extraction) was dominated by essential oil.

The prepared versions of bitter tincture blends exceed the norm in terms of the total extract content, which is due to the proportion of extracts in the blends and can be specified by the beverage manufacturer in the NTD. The final formulation of the bitter tincture is designed for a strength of 40% vol. The drink has a golden brick color, a smoothed aroma profile and a harmonious sweet and sour taste with spicy and fresh notes provided by a combination of vegetable raw materials and lime honey. The recommended daily intake of tincture (20 cm<sup>3</sup>) provides more than two daily norms of tannins and 1.5% of the daily norm of flavonoids, which, combined with the content of organic acids, indicates the achieved goal - the physiological functionality of the new drink.

**Keywords:** import substitution, bitters, formulations, technology, extraction, vegetable raw materials, nutritional value, biologically active substances.

**For citation:** Egorova, E.Yu. & Gryaznov, A.E. (2024). Development of a bitter tincture formulation *Polzunovskiy vestnik*. (4), 79-85. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.012. EDN: <https://elibrary.ru/TTGQXR>.

## ВВЕДЕНИЕ

Наращивание отечественного производства крепкого алкоголя, альтернативного водке, стало одним из главных трендов последних лет. Только за последний год производство дистиллятов и ректификатов выросло почти на 30 %, при оценке роста потребления алкоголя в России в пределах 4–5 % [1].

По данным Росалкогольтабакконтроля за 2023 год, в структуре продаж ликероводочной продукции наиболее существенно выросла доля крепкого алкоголя на растительном сырье – примерно на четверть, при этом продажи традиционных водок заметно снизились [2]. Такую тенденцию эксперты объясняют поиском новых вкусов со стороны российских потребителей и переходом к экономически более доступному формату потребления алкогольных напитков в барах и кафе [1].

С начала последнего периода активного развития сегмента настоек в России (2004–2008 гг.) наиболее прочные позиции были заняты зарубежным брендом Nemiroff, которому удалось перевести эту категорию напитков в нишу премиальных. Но с 2022 года, когда продукция Nemiroff покинула российский рынок ликероводочной продукции,

ассортимент производимых и реализуемых в России крепких спиртных напитков существенно сузился. В том числе, значительно сократился и перечень настоек.

Настойки – категория напитков, сочетающих в себе свойства алкоголя и тоника. История появления и развития технологий приготовления настоек исчисляется веками, а их разнообразие обусловлено широтой потенциально пригодного для этой цели растительного сырья.

Основное назначение настоек – возбуждение и усиление аппетита перед приемом пищи. Но только горькие настойки, или биттеры, благодаря специфическому составу и действию компонентов, собранных в рецептуре трав и кореньев, – алкалоидов, иридоидов, отдельных терпенов и фенольных соединений – считаются полезными при многих аллергических, метаболических и иммунологических заболеваниях, при которых диагноз указывает на нарушение пищеварения [3, 4].

Специфика физиологического действия горьких настоек заключается в том, что сразу после употребления их компоненты вызывают слюноотделение, и это запускает процесс пищеварения, включая выработку фермен-



тов желудком и поджелудочной железой и, как следствие, расщепление крахмала и жира. Расположенные в ротовой полости вкусовые рецепторы распознают присутствующие в напитке горькие компоненты, запуская общесистемную ответную реакцию по всему пищеварительному тракту [5]. Таким образом, горькие настойки, как и горькие вещества в целом, стимулируют выработку всех пищеварительных секретов: слюны, желчных кислот, ферментов, гормонов, желчи и т. д. [6]. К дополнительным положительным эффектам регулярного умеренного потребления горьких настоек относят возможность снижения холестерина [7], снижение вредного воздействия на желудочно-кишечный тракт пищеварительных соков и токсинов, ускорение регенерации слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки [3], а также подавление патогенной микрофлоры кишечника, в том числе благодаря сочетанию активных веществ растительного сырья и этилового спирта [8].

Несмотря на очевидную диетическую ценность горьких настоек, особого внимания исследованию их состава и общих закономерностей извлечения биологически активных компонентов, в отличие от других категорий ликероводочной продукции и вин, не уделялось многие годы. Известно лишь, что при производстве горьких настоек (биттеров) европейских брендов чаще используют пряное (семена и/или корни) и цитрусовое сырье, в соответствии с чем полученные настойки классифицируют как «ароматические», «цитрусовые», «сельдерейные» и прочие [9]. Показано также, что преобладаниепряного и эфирно-масличного сырья обеспечивает напиткам соответствующий горький, горько-пряный или жгучий вкус [10].

Целью предоставленной работы стала разработка рецептуры горькой настойки, содержащей компоненты, направленные на улучшение работы системы пищеварения.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве основного в работе использовали сырье, достаточно традиционное для национальной кухни, имеющее относительно низкую рыночную стоимость и при этом богатое эфирными маслами и фенольными соединениями – веществами, способствующими активизации аппетита и выделению пищеварительных ферментов.

*Семена аниса обыкновенного (Pimpinella anisum)* – компонент, не редкий в рецептурах ликероводочных изделий. Анис культивируется в промышленных масштабах

в южных и центрально-черноземных регионах России. Семена аниса отечественных сортов содержат от 2 до 6 %) эфирного масла, которое в основном состоит из анетола (80–90 %), метилхавикола (10 %), анисового альдегида, анисового кетона и анисовой кислоты, считаются также богатыми флавоноидами, благодаря чему традиционно используются для лечения желудочно-кишечных заболеваний, включая связанные с лямблиозом [11, 12]. Ароматизированные анисом спирты входят в состав таких известных в мировой практике алкогольных напитков, как арабский арак, французский пастис, греческое узо, балканская ракия, немецкий кюстеннебель, итальянская самбука и южноамериканский агуардъенте [12].

*Барбарис обыкновенный (Berberis vulgaris)* культивируется в России практически во всех регионах лесостепной зоны. Плоды барбариса ценятся за высокое содержание веществ антиоксидантной природы, наличие фенольных и органических кислот, широко используемых в производстве пищевых продуктов в качестве естественных консервантов [13, 14] и участвующих в подавлении патогенной микрофлоры кишечника [15].

*Мята перечная (Mentha piperita)* культивируется в России практически повсеместно, находя применение в качестве пряного и лекарственно-технического сырья. Состав эфирного масла мяты, в котором преобладают ментон и ментол, обеспечивает противовирусную, противомикробную и противовоспалительную эффективность продуктов переработки мяты при заболеваниях верхних отделов желудочно-кишечного тракта [16, 17].

Технология получения горьких настоек предполагает возможность использования сахаросодержащего сырья, при условии, что содержание сахара (в составе общего экстракта) в готовой продукции не превышает 3 %. В качестве такого сырья в работе использовали липовый мёд по ГОСТ 19792-2017, имеющий примерно равное соотношение глюкозы и фруктозы, обеспечивающих «естественную плодовую» сладость. К дополнительным плюсам использования липового меда в составе настоек следует отнести его ароматические компоненты [18].

Традиционные технологии получения настоек предусматривают использование преимущественно 40 % растворов этилового спирта без существенного нагревания экстракционной смеси. При таких режимах эффективно извлекаются фенольные соединения и не происходит существенного разрушения термолабильных биологически активных компонентов,

например, присутствующей в некоторых видах сырья аскорбиновой кислоты [10].

Семена аниса и плоды барбариса использовали в высушенном виде (влажность  $6 \pm 1$  %), траву мяты перечной – в свежем виде. Поскольку наиболее ценные компоненты рассматриваемого растительного сырья хорошо растворимы в водно-спиртовых растворах, для получения экстрактов в качестве основных компонентов настойки в работе использованы метод мацерации ( $25 \pm 2$  °С) и 40 % раствор этилового спирта питьевого качества. Гидромодуль экстракции 1:10 определен как оптимальный по результатам ранее проведенных исследований. Продолжительность экстракции составляла от 1 до 9 суток. После настаивания спиртовые экстракты отделяли от растительного шрота декантацией и отфильтровывали от взвесей.

Исследование физико-химических показателей полученных экстрактов и приготовленных на их основе горьких настоек осуществляли в соответствии с методиками, установленными ГОСТ 7190-2013:

- сумму сухих веществ и массовую концентрацию общего экстракта – рефрактометрически, по ГОСТ 32080-2013;
- крепость настоек – ареометрически, по ГОСТ 32080-2013;
- массовую концентрацию сахара – прямым титрованием по ГОСТ 32080-2013;
- массовую концентрацию кислот – титрованием раствором щелочи по ГОСТ 32080-2013.

Для более полной характеристики пищевой ценности настойки определяли основные биологически активные компоненты:

- флавоноиды – на КФК-2, с использованием рутина в качестве стандарта;
- дубильные вещества – по ГОСТ 24027.2-80, в пересчете на танин;
- аскорбиновую кислоту – йодометрическим методом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Получение экстрактов из выбранных видов растительного сырья по традиционной схеме – с использованием 40 % растворов этилового спирта – показало выраженное преимущество индивидуального настоев. Настаивание смешанного растительного сырья при том же соотношении с растворителем не обеспечивало ни суммарного (в пересчете на используемое количество сырья отдельных видов) извлечения сухих веществ, ни фенольных соединений из класса танинов. Эти данные хорошо коррелируют с результатами ранее проведенных исследо-

ваний, продемонстрировавших более насыщенные и сбалансированные дегустационные качества экстрактов и приготовленных на их основе напитков [19].

Цвет полученных настоев свидетельствует об эффективном извлечении полифенольных соединений. По извлечению дубильных веществ через 4–5 дней настаивания на лидирующие позиции, с 6-го дня с переходом «на плато», вышли настои мяты и барбариса (рисунок 1, а–б). С учетом результатов извлечения суммы сухих веществ и дубильных веществ можно считать достаточным выдерживание используемого растительного сырья в контакте с 40 % водно-спиртовым раствором в течение 5 суток.

По эффективности перехода в экстракт суммы флавоноидов также лидировали настои барбариса (рисунок 1, в), но в данном случае весь период настаивания характеризовался нестабильной и отрицательной динамикой.

В составе сухих веществ настоя из аниса преобладало эфирное масло, обеспечившее насыщенный пряный аромат этого полуфабриката.

Декантированные и отфильтрованные настои растительного сырья использовали для приготовления купажей горьких настоек. В их основу положены соотношения настоев аниса, барбариса и мяты, подобранные с учетом формируемых букета и вкусовых характеристик настоек.

Купажи разработанных настоек обладали золотисто-кирпичным цветом (рисунок 2).

Второй купаж имел недостаточно сглаженный запах и привкус этанола, которые в первом купаже полностью перекрывались ароматами и вкусом используемого растительного сырья и мёда, что позволяет говорить о достижении напитком гармоничного букета. Вкус напитка – сладковато-кислый, с пряными и свежими нотами, обеспеченными сочетанием используемого растительного сырья и липового мёда.

Результаты лабораторных исследований физико-химических показателей качества напитков двух выбранных по результатам дегустаций купажей приведены в таблице 1. Согласно ГОСТ 7190–2013 «Изделия ликероводочные. Общие технические условия», в горьких настойках регламентируются: крепость – 25–60 % (с допустимым отклонением  $\pm 0,5$  %), общий экстракт – 0–3 % ( $\pm 0,3$  %) и сумма органических кислот (в пересчете на лимонную кислоту, используемую в технологии ликероводочных изделий для инверсии сахара), – не более 0,5 % ( $\pm 0,03$  %).

## РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ГОРЬКОЙ НАСТОЙКИ

Согласно проведенным исследованиям, напиток первого состава отличается менее выраженной кислотностью и экстрактивностью при незначительно более высоком содержании дубильных веществ. При этом оба

напитка значительно превышают установленные нормы по общему экстракту, что обусловлено долей настоев в купажах и может быть оговорено производителем напитков в собственной НТД.

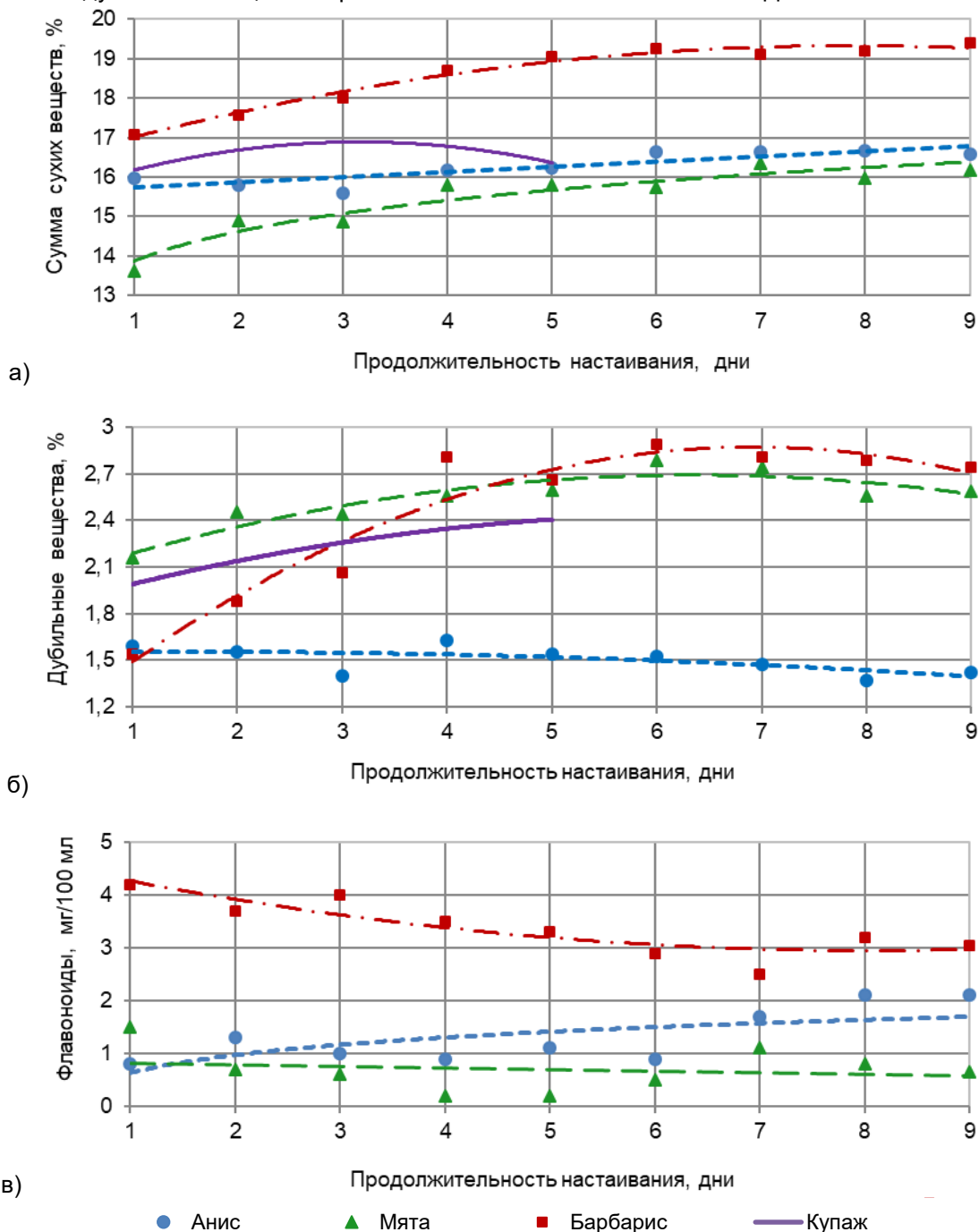


Рисунок 1 – Динамика перехода в настой экстрактивных веществ

Figure 1 – Dynamics of infusion of extractive substances into the infusion

Окончательная рецептура горькой настойки, рассчитанная на крепость 40 % об., приведена в таблице 2.

Таблица 1 – Физико-химические показатели качества настоек

Table 1 – The physico-chemical indicators of bitter tinctures

Образец / норма	Наименование и значение показателя				
	Крепость, %	Массовая концентрация, г/100 см <sup>3</sup>			
		общего экстракта	кислот (на яблочную)	дубильных веществ	флавоноидов
Купаж № 1	40	18,5	4,5	2,1	0,023
Купаж № 2	40	18,9	4,8	1,9	0,022
Норма*	25,0–60,0	0–3,0	0–0,5	Не норм.	Не норм.

Примечание: \*указаны нормы по ГОСТ 7190-2013.

Таблица 2 – Сводная рецептура горькой настойки

Table 2 – The formulation of bitter tincture

Сырье	Массовая доля сухих веществ (СВ), %	Расход сырья на 1000 Дал настойки	
		в натуре	в СВ
Настой барбариса 1-го слива, л	21,93	490	107,46
Настой аниса 1-го слива, л	17,90	480	85,92
Настой мяты перечной 1-го слива, л	17,16	30	5,15
Мёд, кг	82,60	30	24,78
Спирт этиловый и вода, л	–	По расчёту на крепость 40 %	
Итого	–	1030	190,86
Выход	18,50	1000	185,00

Таблица 3 – Пищевая ценность горькой настойки

Table 3 – The nutritional value of bitter tincture

Нутриент	Содержание нутриента в 100 мл / порции настойки	Степень удовлетворения суточной потребности, %
Углеводы, г	5,2 / 0,84	–
Органические кислоты, г	4,5 / 0,90	–
Дубильные вещества, г	2,1 / 0,42	210
Флавоноиды, мг	2,3 / 0,46	1,5
Аскорбиновая кислота, мг	0,18 / 0,036	–



Рисунок 2 – Купаж № 1 (слева) и купаж № 2

Figure 2 – Blend of bitter tincture № 1 (left) and blend of bitter tincture № 2

Считается, что разнообразие ароматов горьких настоек более чем наполовину обусловлено летучими компонентами эфирномасличного сырья [9]. В целом биологически активные вещества настоек считаются аналогичными активным компонентам вин. В частности, проявляемая горькими и сладкими настойками антиоксидантная активность считается обусловленной

преимущественно фенольными соединениями [4]. Как следствие, и анализ пищевой ценности полученной настойки проводили с учетом основных категорий ликероводочных изделий – органических кислот и фенольных соединений (флавоноиды, дубильные вещества).

Анализ пищевой ценности настойки (таблица 3) на соответствие МР 2.3.1.0253-21 [20] показывает, что рекомендуемая суточная норма потребления настойки (20 см<sup>3</sup>) обеспечивает более двух суточных норм дубильных веществ и 1,5 % от суточной нормы флавоноидов, что в сочетании с содержанием органических кислот свидетельствует о достигнутой цели – физиологической функциональности нового напитка.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный анализ качества и пищевой ценности горькой настойки предлагаемого состава подтверждают целесообразность внедрения новой рецептуры в промышленное производство и возможность частичного решения вопросов импортозамещения ликероводочной продукции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Рынок алкогольной продукции в 2023–2024 гг. [The alcohol market in 2023–2024] // <https://world-food.ru/ru/media/news/2024/april/08/alkogolnaya-produkciya/?ysclid=lyicmui8nt314970365>.
2. Продажи настоек в России выросли на 24,6 % [Sales of tinctures in Russia increased by 24.6%] // <https://www.vedomosti.ru/business/news/2023/10/17/1001003-prodazhi-nastоек>.
3. Sharma, M.K. & Bachwani, M. (2013). Significance of plant bitters in the field of pharmacognosy. *Asian Journal of Pharmaceutical Technology & Innovations*, 01 (03), 01-14.
4. Polak, J., Bartoszek, M. & Bernat, R. (2019). Comprehensive comparison of antioxidant properties of tinctures. *Scientific Reports*. 9 (1). DOI: 10.1038/s41598-019-42656-2.
5. Zheng, S., Jiang, M., Zhao, C., Zhu, R., Hu, Z., Xu, Y. & Lin, F. (2018). e-Bitter: Bitterant prediction by the consensus voting from the machine-learning methods. *Frontiers in Chemistry*, 6: 82. DOI: 10.3389/fchem.2018.00082.
6. Xie, C., Wang, X., Young, R.L., Horowitz, M., Rayner, C.K. & Wu, T. (2018). Role of intestinal bitter sensing in enteroendocrine hormone secretion and metabolic control. *Frontiers in Endocrinology*, 9:576. DOI:10.3389/fendo.2018.00576.
7. Imaga, N & James, V. (2013). Analyses of the effects of swedish bitters on selected metabolic profiles. *International Research Journal of Pharmacy*, 4 (8), 120-127. DOI:10.7897/2230-8407.04821.
8. Olech, M., Nowak, R., Los, R., Rzymowska, J., Malm, A., Chrusciel, K. (2012). Biological activity and composition of teas and tinctures prepared from *Rosarugosa* Thunb. *Central European Journal of Biology*, 7 (1), 172-182. DOI:10.2478/s11535-011-0105-x.
9. Johnson, A.J., Heymann, H. & Ebeler, S.E. (2015). Volatile and sensory profiling of cocktail bitters. *Food Chemistry*, 179, 343-354. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.01.114.
10. Popova, N., Misyura, T., Chorny, V. & Rybachok, A. (2017). Intensification of the extraction process manufacture of bitter tinctures. *Proceedings of University of Ruse*, 56 (10.2), 65-69.
11. Alrasheid, A.A., Kabbashi, A.S., Ali, A.O., Al-rasheed, A.A., Kanani, Z., Saleh, M.M., Zengin, G. & Ayoub, S.M.H. (2024). Nutritional value and *in vitro* anti-giardial activity of anise (*Pimpinella anisum* L.) seeds. *Chemistry & Biodiversity*, 21(3): e202301254. DOI: 10.1002/cbdv.202301254.
12. Singletary, K.W. (2022). Anise: Potential Health Benefits. *Nutrition Today*, 57 (2), 96-109, 3/4. DOI:10.1097/NT.0000000000000534.
13. Özgen, M., Saraçoğlu, O. & Geçer, E.N. (2012). Antioxidant capacity and chemical properties of selected barberry (*Berberis vulgaris* L.) fruits. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 53 (6), 447-451. DOI: 10.1007/s13580-012-0711-1.
14. Sharifi, F. & Poorakbar, L. (2015). The survey of antioxidant properties of phenolic compounds in fresh and dry hybrid Barberry fruits (*Berberis integerrima* × *vulgaris*). *Cumhuriyet Science Journal*, 36 (3), 1609-1617. DOI:10.17776/CSJ.69976.
15. Rahimi-Kakolaki, M., Omidi, A., Rasooli, A. & Shekarforoush, S.S. (2024). *In vitro* antifungal activity of barberry fruit extract (*Berberis* spp.) against *Fusarium* spp. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 7, 47-60.
16. Zhaohai, W., Tan, B., Liu, Y., Dunn, J., Martorell, P., Tortajada, M., Cao, Z. & Ji, P. (2019). Chemical composition and antioxidant properties of essential oils from peppermint, native spearmint and scotch spearmint. *Molecules*, 24 (15): 2825. DOI: 10.3390/molecules24152825.
17. Chakraborty, K., Chakravarti, A.R. & Bhattacharjee, S. (2022). Bioactive components of peppermint (*Mentha piperita* L.), their pharmacological and ameliorative potential and ethnomedicinal benefits: A review. *Journal of pharmacognosy and phytochemistry*, 11 (1), 109-114.
18. Esenkina, S.N. (2022). Comparative features of lime honey of different geographical origin. *Materials of scientific papers of the KNTSV*, 11 (1), 135-138. DOI: 10.48612/sbornik-2022-1-32. (In Russ.).
19. Egorova, E.Yu. & Shokhin, D.A. (2023). Development of recipes for dessert liqueurs based on fruit and berry raw materials of the Altai region. // *Polzunovsky Vestnik*. 4, 29-37. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.004. (In Russ.).
20. МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации [Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation]. (In Russ.).

## Информация об авторах

Е. Ю. Егорова – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии хранения и переработки зерна Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. Е. Грязнов – студент магистратуры направления подготовки «Продукты питания из растительного сырья» кафедры технологии хранения и переработки зерна Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

## Information about the authors

E.Yu. Egorova - Doctor of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

A.E. Gryaznov - student of the training course 'Food products from vegetable raw materials' of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 20 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 20 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК615.322

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.013



## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОПРОТЕКТОРНОГО ПОТЕНЦИАЛА МУКИ ИЗ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

Галина Андреевна Донская <sup>1</sup>, Татьяна Сергеевна Бычкова <sup>2</sup>,  
Елена Анатольевна Юрова <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

<sup>1</sup> g\_donskaya@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0001-6270-7579>

<sup>2</sup> t\_bychkova@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-9539-1600>

<sup>3</sup> e\_yurova@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0003-3369-5673>

**Аннотация.** Особый интерес сегодня вызывают пищевые продукты, обладающие радиопротекторным действием, которые возможно использовать в случае неблагоприятной радиационной обстановки. Научно-обоснованный подбор рецептурных ингредиентов позволит разработать противолучевую добавку, повышающую устойчивость организма в пострадиационный период и устраняющую последствия лучевой нагрузки при лечении или медицинском обследовании, предусматривающие различные дозы облучения. В статье представлены основные показатели пищевой и биологической ценности муки из семян расторопши и муки из шрота подсолнечника, обуславливающие радиозащитное, иммуноактивирующее и адаптогенное действие. Из биологически активных веществ, способных повысить радиорезистентность организма, мука из масличных культур содержит антагонисты радионуклидов стронция и цезия – кальций и калий, адаптогены – витамины, особенно группы В, и такие аминокислоты, как глутаминовая, аспарагиновая, цистин, метионин и глицин, выступающие стабилизаторами собственной антиоксидантной системы организма. Установлено оптимальное соотношение муки из семян расторопши и шрота подсолнечника (2:3), при котором выявлен наиболее высокий антиоксидантный потенциал композиции (3,16 мг-экв/г), что при комплексном использовании позволит оказать стимулирующее действие на антиоксидантную защиту организма и повысить его радиорезистентность в условиях ионизирующего излучения.

**Ключевые слова:** радиопротекторное действие, ионизирующее излучение, радиорезистентность, биологически активные вещества, аминокислотный состав, витамины, антиоксидантная активность.

**Для цитирования:** Донская Г. А., Бычкова Т. С., Юрова Е. А. Исследование радиопротекторного потенциала муки из масличных культур // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 86–92. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.013, EDN: <https://elibrary.ru/PRTGQZ>.

Original article

## INVESTIGATION OF THE RADIOPROTECTIVE POTENTIAL OF OILSEED FLOUR

Galina A. Donskaya <sup>1</sup>, Tatyana S. Bychkova <sup>2</sup>, Elena A. Yurova <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> All-Russian Dairy Research Institute, Russia, Moscow

<sup>1</sup> g\_donskaya@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0001-6270-7579>

<sup>2</sup> t\_bychkova@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-9539-1600>

<sup>3</sup> e\_yurova@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0003-3369-5673>

**Abstract.** Of particular interest today are food products with a radioprotective effect, which can be used in case of adverse radiation conditions. A scientifically based selection of prescription ingredients will allow the development of an anti-radiation supplement that increases the body's resistance during the radiation period and eliminates the effects of radiation exposure during treatment or medical examination involving various doses of radiation. The article presents the main indicators of the nutri-

© Донская Г. А., Бычкова Т. С., Юрова Е. А.



*tional and biological value of flour from milk thistle seeds and flour from sunflower meal, which cause radioprotective, immunoactivating and adaptogenic effects. Of the biologically active substances capable of increasing the radioresistance of the body, flour from oilseeds contains antagonists of strontium and caesium radionuclides - calcium and potassium, adaptogens - vitamins, especially group B, and amino acids such as glutamic, aspartic, cystine, methionine and glycine, acting as stabilizers of the body's own antioxidant system. The optimal ratio of flour from milk thistle seeds and sunflower meal has been established, which revealed the highest antioxidant potential of the composition, which, when used in combination, will provide a stimulating effect on the antioxidant protection of the body and increase its radioresistance in conditions of ionizing radiation.*

**Keywords:** radioprotective effect, ionizing radiation, radioresistance, biologically active substances, amino acid composition, vitamins, antioxidant activity.

**For citation:** Donskaya, G.A., Bychkova, T.S. & Yurova, E.A. (2024). Investigation of the radioprotective potential of oilseed flour. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 86-92. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.013. EDN: <https://elibrary.ru/PRTGQZ>.

## ВВЕДЕНИЕ

Последствия аварии на ЧАЭС наглядно показали, что среди мероприятий, направленных на ограничение радиационного воздействия для людей, проживающих в экологически неблагоприятных условиях, особая роль принадлежит рациональному питанию с радиозащитными свойствами. Пища, богатая витаминами, аналогами радионуклидов, аминокислотами, в том числе полиненасыщенными, способствует повышению радиорезистентности организма. Согласно гипотезе эндогенного фона радиорезистентности (ЭФР), сформулированной Гончаренко Е.Н. и Кудряшовым Ю.Б., устойчивость биологических объектов к действию ионизирующей радиации определяется рядом эндогенных веществ, способных влиять на зарождение и развитие первичных лучевых процессов [1]. По мнению авторов, к эндогенным защитным соединениям относятся тиолы, биогенные амины: серотонин, гистамин, дофамин, норадреналин. К эндогенным сенситизаторам радиационного воздействия относят продукты перекисного окисления липидов, в том числе, гидроперекиси и перекиси ненасыщенных жирных кислот. Согласно гипотезе ЭФР, не только искусственно модифицируемая радиорезистентность, но и природная, определяется соотношением уровней эндогенных защитных и сенситизирующих веществ. Это соотношение было определено как «регуляторный комплекс», который определяет устойчивость биологических объектов к действию радиации. Концепция ЭФР позволила авторам предположить, что компоненты природного происхождения, а также некоторые лекарственные средства, моделирующие общую неспецифическую резистентность организма и иммунную систему, могут быть использованы в качестве средств защиты от хронического облучения [1, 2, 3].

Для повышения радиорезистентности

организма применяют адаптогены, в том числе фитопрепараты, иммуномодуляторы, многокомпонентные композиции, задача которых – мобилизация противолучевых и общебиологических защитных ресурсов, повышение ЭФР.

При этом особая роль отводится ингредиентам растительного происхождения в силу их безвредности, биодоступности. Известны радиопротекторные свойства женьшеня, элутерококка, китайского лимонника. Исследованы радиопротекторные свойства эраконда, представляющего собой экстракт люцерны посевной с добавлением определённого набора микроэлементов [4, 5].

Установлены радиопротекторные свойства отдельных видов грибов, выращиваемых в промышленных условиях [6, 7].

Цель исследования – определение радиопротекторных свойств биологически активных веществ продуктов растительного происхождения как компонентов добавки, предназначенной для обогащения молочных продуктов и повышения их радиопротекторной эффективности.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования – мука из отборных семян рапса (ООО «Специалист», СТО 33974444-011-2019) и мука из шрота подсолнечника (ООО «Агро Петро», ТУ 10.41.41-229-37676459-2018) как источники природных антиоксидантов.

Содержание минеральных веществ определяли по ГОСТ Р ИСО 27085-2012, содержание водорастворимых витаминов группы В – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) по ГОСТ 31483-2012, содержание витамина Е – методом обращенно-фазовой ВЭЖХ. Для определения витаминов группы В осуществляли гомогенизирование точечных проб, добавляли 0,1 М HCl, перемешивали при помощи ультразвуковой ванны в течение 15–30 минут. Для осаждения белков и липидов использовали растворитель

(ацетонитрил) с последующим центрифугированием в течение 15 минут при температуре 4 °С и 15 тыс. об/мин. Для измерений использовали полученный центрифугат.

Аминокислотный состав определяли методом капиллярного электрофореза с использованием системы КЭ «КАПЕЛЬ» на основе методики М-4-94-2021, жирнокислотный состав – методом газовой хроматографии в соответствии с ГОСТ 32915-2014.

Антиоксидантную активность растительного сырья определяли по массовой концентрации антиоксидантов. В исследовании были применены две методики. Для оценки активности, эквивалентной галловой кислоте, – амперометрический метод с использованием прибора «Цвет Яуза 01-АА». Для оценки активности, эквивалентной аскорбиновой кислоте – метод Рогожина [8], основанный на способности хлорного железа ( $Fe^{3+}$ ) окислять антиоксиданты, с использованием спектрофотометра СФ-2000.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее дано экспериментально-теоретическое обоснование применения муки из семян расторопши и из шрота подсолнечника в качестве обогатителей молочных композиций. Показано, что данные продукты богаты природными антиоксидантами, такими как силимариновый комплекс в муке из расторопши, мелатонин в муке из шрота подсолнечника [9, 10].

Обеспечить организм человека оптимальным количеством биологически активных веществ за счёт обычных продуктов питания не представляется возможным. Для защиты организма от радиационного воздействия необходимо создание специализированных продуктов, обогащённых минеральными веществами, витаминами, аминокислотами, адаптогенами. В связи с этим на этапе моделирования композиции противолучевой добавки считали целесообразным провести комплексную оценку показателей пищевой и биологической ценности рассматриваемого сырья, так как его свойства напрямую зависят от района произрастания растений и состава почвы.

Одним из условий радиопротекторного эффекта добавки является оптимальное количество в ней антагонистов радионуклидов цезия и стронция в виде солей калия и кальция.

С этой целью проведена комплексная оценка минерального состава исследуемых продуктов (таблица 1).

Таблица 1 – Минеральный состав растительных компонентов добавки

Table 1 – The mineral composition of the herbal components of the supplement

Наименование сырья	Содержание минеральных веществ, мг/100 г						
	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Fe
Мука из семян расторопши	1006,9	457,2	1082,7	701,48	1,62	6,07	8,26
Мука из шрота подсолнечника	436,6	765,1	1692,5	1266,0	1,93	9,39	16,73

Полученные результаты, представленные в таблице 1, свидетельствуют о высоком содержании в обоих продуктах солей кальция и калия, являющихся антагонистами указанных выше радионуклидов [9, 10]. Следует отметить, что в случае с изотопом стронция наиболее ценным компонентом выступает мука из семян расторопши, в которой содержание антагониста стронция – кальция – в 2,3 раза больше по сравнению с мукой из шрота подсолнечника. Однако мука из шрота подсолнечника является богатым источником калия, являющегося антагонистом цезия, с преимуществом в 1,6 раз. Важная роль в восстановлении повреждений клеточных структур при радиационном поражении, а также в стимуляции ферментной антиоксидантной системы организма отводится витаминам.

Радиопротекторная роль витаминов продемонстрирована в многочисленных исследованиях. Вместе с тем значительная часть

населения нашей страны испытывает дефицит в ряде витаминов, в том числе витаминов группы В, витамине Е и др., что наряду с имеющейся патологией может быть самостоятельной причиной активации перекисного окисления липидов (ПОЛ). Витамины В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, не только выполняют кофакторную функцию в метаболических процессах в организме, но и участвуют в обмене серосодержащих аминокислот и гистамина, вызывая самостоятельный радиопротекторный эффект. Наряду с этим витамин В<sub>6</sub> является дополнительным источником серы, а витамин В<sub>1</sub> участвует в потенцировании радиопротекторной эффективности других веществ. Известно, что витамин В<sub>2</sub> участвует в построении флавинонуклеотидов, флавинденин-динуклеотидов, являющихся простетическими группами большого числа окислительно-восстановительных ферментов, принимающих активное участие в окислительных процессах на стадии

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОПРОТЕКТОРНОГО ПОТЕНЦИАЛА МУКИ ИЗ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

переноса электронов и протонов от никотинамидных коферментов к цитохрому, играя ключевую роль в процессах биологического окисления. Витамин В<sub>6</sub> в форме коферментов участвует в превращениях аминокислот, метаболизме триптофана, липидных и нуклеиновых кислот, в поддержании иммунного ответа. Витамины В<sub>1</sub>, В<sub>6</sub> улучшают регенерацию кроветворения, ускоряют восстановление эритроци-

тов и лейкоцитов. Витамин Е улучшает циркуляцию крови, необходим для регенерации тканей, укрепляет стенки капилляров, предотвращает развитие анемии, выступает в роли активного антиоксиданта.

Экспериментальные данные по содержанию витаминов в исследуемых продуктах представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Витаминный состав растительных компонентов добавки

Table 2 – The vitamin composition of the herbal components of the supplement

Витамин	Фактическое значение, мг/100 г		Физиологическая потребность мг/сутки
	Мука из семян расторопши	Мука из шрота подсолнечника	
Витамин Е	2,66	1,01	15
Витамин В <sub>1</sub>	1,31	2,72	1,5
Витамин В <sub>2</sub>	0,92	0,38	1,8
Витамин В <sub>6</sub>	0,47	0,63	2,0

Согласно результатам экспериментальных исследований, мука из отборных семян расторопши обладает несколько большим потенциалом по содержанию витаминов Е и В<sub>2</sub>, в то время как мука из шрота подсолнечника является богатым источником витаминов В<sub>1</sub> и В<sub>6</sub>.

Поскольку основным компонентом, определяющим пищевую ценность рассматриваемого растительного сырья, является белок, считали необходимым провести оценку аминокислотного состава белковой фракции муки.

Известно, что одни аминокислоты выступают источниками для образования нейромедиаторов в центральной нервной системе (ЦНС) (гистамин, серотонин), а другие – непосредственно нейромедиаторами (глицин, глутаминовая кислота).

В ходе обменных процессов аминокислоты превращаются в иные соединения, называемые метаболитами аминокислот. Так, из глицина образуется порфирин для синтеза гемоглобина и цитохрома, гиппуровая кислота для связывания токсичных соединений. Лизин преобразуется в гидроксилин (составная часть коллагена) и карнитин, обеспечивающий транспорт жирных кислот. Метионин участвует в производстве холина – компонента фосфолипидов. Глутаминовая кислота отвечает за процессы торможения ЦНС, а глутамин является главным источником энергии для клеток желудочно-кишечного тракта и обеспечивает поддержание иммунной системы организма. Аланин принимает участие в обмене углеводов. Наиболее выраженным радиопротекторным действием обладают серосодержащие аминокислоты: цистин, цисте-

ин, метионин, экранирующие SH-группы в молекулах белка и предохраняющие их от действия радиации.

Основными антиоксидантами являются глутаминовая, аспарагиновая кислоты, цистеин и их соли [11]. Известно, что при повышении активности антиоксидантной системы организма снижается интенсивность перекисного окисления липидов и уменьшается повреждение клеток при воздействии ионизирующего излучения.

Аминокислотный состав муки расторопши и шрота подсолнечника представлен в таблице 3.

Результаты экспериментальных исследований показали, что по содержанию аминокислот мука из шрота подсолнечника обладает значительно большим потенциалом в сравнении с мукой из семян расторопши. Особое внимание стоит обратить на наличие таких аминокислот, как глутаминовая, аспарагиновая, цистин, метионин и глицин, выступающих стабилизаторами собственной антиоксидантной системы организма. Значительное содержание глутаминовой и аспарагиновой кислот в муке из шрота подсолнечника в определенной степени может обуславливать высокую антиоксидантную активность этого продукта. Полученные данные позволяют предположить, что мука из шрота подсолнечника обладает большим противорадиационным эффектом относительно муки из семян расторопши.

Известно, что в процессе восстановления организма в пострадиационный период жирные кислоты принимают активное участие.

Жирнокислотный состав исследуемых видов муки представлен в таблице 4.

Таблица 3 – Аминокислотный состав растительных компонентов добавки

Table 3 – Amino acid composition of the herbal components of the supplement

Наименование аминокислоты	Фактическое значение, мг/100 г		Погрешность измерений
	Мука из семян раторопши	Мука из шрота подсолнечника	
Триптофан	498,3	510,1	±20 % (отн.)
Глутаминовая кислота + глутамин	2656,1	7536,9	±20 % (отн.)
Аспарагиновая кислота + аспарагин	1223,7	3564,1	±20 % (отн.)
Цистин	336,5	807,9	±24 % (отн.)
Аргинин	1301,6	3007,1	±23 % (отн.)
Лизин	543,0	1125,7	±18 % (отн.)
Тирозин	479,3	952,8	±23 % (отн.)
Фенилаланин	509,2	1522,6	±23 % (отн.)
Гистидин	438,6	1158,1	±23 % (отн.)
Лейцин + изолейцин	1225,2	3219,7	±18 % (отн.)
Метионин	247,9	865,6	±23 % (отн.)
Валин	452,1	1083,7	±18 % (отн.)
Пролин	761,9	1823,9	±18 % (отн.)
Треонин	479,3	1262,8	±18 % (отн.)
Серин	673,9	1469,5	±18 % (отн.)
Аланин	652,5	1699,8	±18 % (отн.)
Глицин	779,7	2157,9	±18 % (отн.)

Таблица 4 – Жирнокислотный состав растительных компонентов добавки

Table 4 – Fatty acid composition of the vegetable components of the supplement

Наименование жирной кислоты	Концентрация ЖК, %	
	Мука из семян раторопши	Мука из шрота подсолнечника
1	2	3
Лауриновая (C12 : 0)	0,3315	0,3279
Миристиновая (C14:0)	0,7613	0,7152
Пентадекановая (C15: 0)	0,1106	0,1125
Пальмитиновая (C16:0)	10,3166	9,5293
Пальмитоолеиновая (C16:1)	0,2064	0,2404
Маргариновая (C17:0)	0,1336	0,1188
Стеариновая (C18:0)	5,9573	4,1220
Олеиновая (C18 :1п9с)	29,8161	33,6539
Линолевая (C18:2п6тс)	45,2890	49,0163
Линоленовая (C18:3п3)	0,2352	0,1439
Арахидиновая (20:0)	3,0545	0,4396
Эйкозеновая (C20 :0)	0,9115	0,0400
Бегеновая (C22 :0)	1,8522	0,6192
Трикозановая (C23:0)	0,1580	0,2197
Лигноцериновая (C24:0)	0,4813	0,2453

По данным таблицы 4 можно сделать вывод о схожем жирнокислотном составе рассматриваемого растительного сырья с небольшим преимуществом муки из шрота подсолнечника по содержанию пальмитиновой, стеариновой, олеиновой и линолевой кислот. Роль данных кислот при восстановлении организма в условиях ионизирующего излучения обусловлена точечным участием в процессах жизнеобеспечения.

Например, пальмитиновая кислота входит в состав основных компонентов биологических мембран, в значительной степени определяя их свойства. Восполнение количества пальмитиновой кислоты при активации процесса окисления позволит стабилизировать мембраны клеток. Стеариновая кислота

участвует в метаболизме липидов, необходимых для поддержания нормального функционирования клеток, тканей и органов, играет важную роль в синтезе гормонов и обеспечивает полноценную работу нервной системы. Основная функция стеариновой кислоты – запас энергии в организме.

Олеиновая кислота, как и все ненасыщенные жирные кислоты, выполняет две жизненно важные функции: энергетическую (выделяет энергию при распаде); пластическую (принимает участие в построении биологических мембран, из которых состоит скелет растительных и животных клеток). Кроме того, она выводит из организма свободные радикалы и токсины. Оптимальное количество олеиновой кислоты в организме достигается при соблюдении особой

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОПРОТЕКТОРНОГО ПОТЕНЦИАЛА МУКИ ИЗ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

пропорции: 1/3 – растительного происхождения, остальное – животного. Она легко усваивается организмом вместе с пищей. Линолевая кислота является самой активной из класса омега-6, присутствует в каждой клетке, особенно необходима печени, мозгу, мышцам. Укрепляет иммунитет и способствует защите клеток от воздействия радиации.

Процентное содержание линолевой кислоты в обоих видах муки занимает самую высокую позицию и соответствует значению 45–48 %.

Результаты проведенных экспериментальных исследований по определению витаминного, аминокислотного и жирнокислотного составов муки из семян расторопши и шрота подсолнечника показали, что исследу-

Таблица 5 – Антиоксидантная активность растительных компонентов добавки

Table 5 – Antioxidant activity of the herbal components of the supplement

Наименование сырья	Антиоксидантная активность, мг-экв галловой кислоты/г	Антиоксидантная активность, мг-экв аскорбиновой кислоты/г
Мука из семян расторопши	2,43	1,86
Мука из шрота подсолнечника	3,62	2,72

Полученные данные свидетельствуют о более высоком антиоксидантном потенциале муки из шрота подсолнечника. Показатель АОА муки из шрота почти на 50 % превышает таковой для муки из расторопши.

Результат комплексной оценки растительного сырья позволяет сделать вывод, что в составе противолучевой добавки целесообразно применить композиции муки из семян расторопши и муки из шрота подсолнечника. Предположительно, именно композиционное участие в составе добавки позволит получить наиболее высокий ее потенциал как стабилизатора антиоксидантной системы живого объекта.

С целью определения оптимального соотношения мука из семян расторопши : мука из шрота подсолнечника рассмотрены несколько композиций. Результаты оценки АОА данных композиций представлены на рисунке 1.

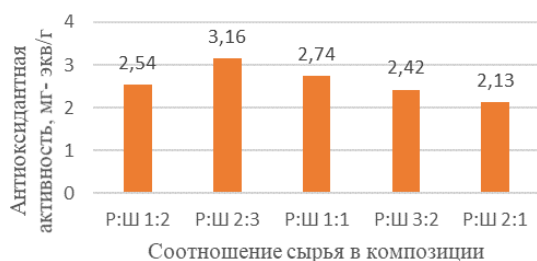


Рисунок 1 – Зависимость антиоксидантной активности от соотношения растительного сырья в композиции

Figure 1 – Dependence of antioxidant activity on the ratio of vegetable raw materials in the composition

Исходя из рисунка 1 можно сделать заключение, что оптимальной композицией рас-

еимое сырье содержит в своём составе адаптогены, радиопротекторы, антагонисты радионуклидов цезия и стронция. Полученные результаты позволяют сделать заключение, что мука из семян расторопши и мука шрота подсолнечника могут обеспечить радиозащитный эффект как компоненты противолучевой добавки. При этом отличительной особенностью указанных продуктов является наличие в них природных антиоксидантов. Для установления их эффективности определена антиоксидантная активность (АОА) каждого из видов муки.

Результаты оценки антиоксидантного потенциала исследуемых продуктов представлены в таблице 5.

Полученные данные свидетельствуют о более высоком антиоксидантном потенциале муки из шрота подсолнечника. Показатель АОА муки из шрота почти на 50 % превышает таковой для муки из расторопши. Несмотря на снижение показателя АОА относительно самостоятельного применения шрота на 13 %, стоит обратить внимание на высокое содержание витамина Е в муке из семян расторопши, который принимает непосредственное участие в восстановлении антиоксидантного статуса живого организма.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные экспериментальные исследования показали, что мука из семян расторопши и шрота подсолнечника содержит комплекс биологически активных веществ, что позволяет их использовать как компоненты противолучевой добавки с целью стабилизации антиоксидантной системы организма в условиях ионизирующего излучения.

Установлено оптимальное соотношение муки из семян расторопши и муки из шрота подсолнечника, позволяющее обеспечить высокий уровень антиоксидантной активности комплексной добавки, что особенно важно для ингибирования окислительно-восстановительных процессов, возникающих в организме в условиях ионизирующего излучения.

Представленная добавка может быть использована в технологии новых пищевых продуктов, направленных на повышение радиорезистентности организма.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаренко Е.Н., Кудряшов Ю.Б. Гипотеза эндогенного фона радиорезистентности. Москва : МГУ, 1980. 176 с.
2. Гончаренко Е.Н., Кудряшов Ю.Б. Противолучевые средства природного происхождения // Успехи современной биологии. 1991. Т. 3. Вып. 2. С. 302–316.
3. Кудряшов Ю.Б. Поиск и изучение механизмов действия новых природных и синтетических противолучевых средств. Москва : МГУ, ПТУ, 1989. 215 с.
4. Сафонова В.Ю. О влиянии фитопрепаратов на радиорезистентность организма // Вестник ОГУ. 2005. № 4. С. 92–96.
5. Зобкова З.С. Методологические аспекты проектирования цельномолочных продуктов с повышенной относительной биологической ценностью // Пищевая промышленность. 2022. № 3. С. 68–71. DOI: 10.52653/PPI.2022.3.3.016.
6. Хамитова А.Т., Проскурина Л.И. Разработка технологии производства мясных продуктов с радиопротекторными свойствами // Вестник Инновационного Евразийского университета. 2018. № 1. С. 88–95.
7. Малышева К.Е. Особенности радиопротекторного питания как способа защиты организма человека от ионизирующих излучений // Студенческий научный форум-2015: материалы VII международной студенческой научной конференции: Интернет-портал. – URL: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015011444> (дата обращения: 03.04.2024).
8. Рогожин В.В. Практикум по биологической химии : учеб.- метод. пособие. СПб. : Лань, 2006. 256 с.
9. Донская Г.А., Креккер Л.Г., Дрожжин В.М. Исследование радиопротекторного потенциала шрота подсолнечника как ингредиента молочного продукта // Переработка молока. 2023. № 11 (289). С. 44–49. DOI: 10.33465/2222-5455-2023-11-44-49.
10. Растительные радиопротекторы в технологии молочных продуктов / Донская Г.А. [и др.] // Сыроделие и маслоделие. 2023. № 4. С. 103–108. DOI: 10.21603/2073-4018-2023-4-7.
11. Зависимость относительной биологической ценности йогурта от вида стабилизирующих добавок / Зобкова З.С. [и др.] // Молочная промышленность. 2021. № 1. С. 24–26. DOI: 10.31515/1019-8946-2020-08-36-37.

## Информация об авторах

Г. А. Донская – доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории технологий функциональных продуктов ФГАНУ «ВНИМИ».

Т. С. Бычкова – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией технологий функциональных продуктов ФГАНУ «ВНИМИ».

Е. А. Юрова – кандидат технических наук, заведующий лабораторией технокимического контроля ФГАНУ «ВНИМИ».

## REFERENCES

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 03 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 03 May 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.

1. Goncharenko, E.N. & Kudryashov, YU.B. (1980). The hypothesis of the endogenous background of radioreistance. Moscow : MSU. (In Russ.).
2. Goncharenko, E.N. & Kudryashov, YU.B. (1991). Anti-radiation agents of natural origin // The successes of modern biology, vol. 3 (2) 302-316. (In Russ.).
3. Kudryashov, YU.B. (1989). Search and study of the mechanisms of action of new natural and synthetic anti-radiation agents. Moscow : MSU, PTU. (In Russ.).
4. Safonova, V.YU. (2005). On the effect of phyto-preparations on the radioresistance of the body // Bulletin of the OSU. (4), 92-96. (In Russ.).
5. Zobkova Z.S. (2022). Methodological aspects of designing whole-milk products with increased relative biological value. Food industry. (3). 68-71. DOI: 10.52653/PPI.2022.3.3.016. (In Russ.).
6. Hamitova, A.T. & Proskurina, L.I. (2018). Development of technology for the production of meat products with radioprotective properties // Bulletin of the Innovative Eurasian University. (1). 88-95. (In Russ.).
7. Malysheva, K.E. (2015). Features of radioprotective nutrition as a way to protect the human body from ionizing radiation. Student Scientific Forum 2015: proceedings of the VII International Student Scientific Conference. Retrieved from <https://scienceforum.ru/2015/article/2015011444>. (In Russ.).
8. Rogozhin, V.V. (2006). Workshop on biological chemistry: an educational and methodological guide. St. Petersburg: Lan'. (In Russ.).
9. Donskaya, G.A., Krekker, L.G. & Drozhzhin, V.M. (2023). Investigation of the radioprotective potential of sunflower meal as an ingredient in a dairy product. Milk processing. (11). 44-49. DOI: 10.33465/2222-5455-2023-11-44-49. (In Russ.).
10. Donskaya, G.A., Krekker, L.G., Kolosova, E.V., Drozhzhin, V.M. & Karapetyan, V.K. Plant radioprotectors in dairy technology. Cheese making and butter making. (4). 103-108. DOI: 10.21603/2073-4018-2023-4-7. (In Russ.).
11. Zobkova, Z.S., Fursova, T.P., Zenina, D.V., Shelaginova, I.R. & Gavrilina, A.D. (2021). The dependence of the relative biological value of yogurt on the type of stabilizing additives. Dairy industry. (1). 24-26. DOI: 10.31515/1019-8946-2020-08-36-37. (In Russ.).

## Information about the authors

G.A. Donskaya - Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Technologies of Functional Products of VNIIMI.

T.S. Bychkova - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Functional Products Technologies of VNIIMI.

E.A. Yurova - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Technochemical Control of VNIIMI.



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 664.91

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.014



## РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ПАШТЕТА МЯСОРАСТИТЕЛЬНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ АРКТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Вера Викторовна Тригуб<sup>1</sup>, Владимир Григорьевич Попов<sup>2</sup>,  
Марина Викторовна Николенко<sup>3</sup>, Светлана Александровна Белина<sup>4</sup>,  
Виктория Вячеславовна Аксентьева<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 4, 5</sup> Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

<sup>3</sup> Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия

<sup>1</sup> trigubvv@tyuiu.ru // orcid.org / 0000-0002-4464-7346

<sup>2</sup> popovvg@tyuiu.ru // orcid.org / 0000-0002-5902-1768

<sup>3</sup> novopaschinamv@mail.ru // orcid.org / 0000-0002-1099-0656

<sup>4</sup> belinasa@tyuiu.ru // orcid.org / 0000-0002-0142-2905

<sup>5</sup> aksentevavv@tyuiu.ru // orcid.org / 0000-0001-7154-8944

**Аннотация.** В современной пищевой индустрии перспективным направлением является проектирование и применение субстанций в виде комплексных пищевых добавок (КПД), обладающих физиологической направленностью для обогащения кулинарных и кондитерских изделий с целью повышения пищевой ценности готовой продукции. Использование арктического сырья для изготовления мясорастительной продукции является актуальным направлением, т.к. снижает энергетическую ценность при одновременном увеличении минеральных веществ, клетчатки, протопектинов, формирующих адаптогенные свойства готовой продукции. Представлена рецептура и технология получения мясорастительного паштета на основе субпродуктов мяса оленины и комплексной пищевой добавки (КПД), полученной из арктического растительного сырья. Комплексная пищевая добавка представляет собой фосфолипидно-минерально-витаминный комплекс в виде порошкообразной массы (с размером частиц 70–90 мкм). Добавка обладает высокой влагосвязывающей и влагоудерживающей способностью, не образует гель при тепловой обработке паштетов. Использовали стандартные методы исследования качества паштета: органолептические, физико-химические, микробиологические. Использовали тепловую обработку полуфабриката методом sous-vide, что позволило сократить потери минеральных веществ от 10,0 до 14,5 %, витаминов – от 3,0 % до 17,2 %, а также пролонгировать сроки хранения готовой продукции на 35 дней в сравнении с традиционной технологией – варка. Разработанный паштет обладает более высокими антиоксидантными свойствами на 4,2–5,3 % в сравнении с контрольным образцом. Разработанный мясорастительный паштет обладает функциональными свойствами по содержанию клетчатки, что позволяет рекомендовать данную рецептуру для производства и внедрения в предприятия пищевой промышленности и общественного питания в условиях Арктики.

**Ключевые слова:** функциональный продукт, комплексная пищевая добавка, арктическое сырье, микробиологические показатели, физико-химические показатели.

**Для цитирования:** Разработка рецептуры паштета мясорастительного функционального назначения из арктического сырья / В. В. Тригуб [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 93–98. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.014, EDN: <https://elibrary.ru/JXABJJ>.

Original article

## DEVELOPMENT OF A RECIPE FOR MEAT AND VEGETABLE PATE FUNCTIONAL PURPOSE FROM ARCTIC RAW MATERIALS

Vera V. Trigub<sup>1</sup>, Vladimir G. Popov<sup>2</sup>, Marina V. Nikolenko<sup>3</sup>,  
Svetlana A. Belina<sup>4</sup>, Viktorija V. Aksentjeva<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 4, 5</sup> Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

<sup>3</sup> Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

© Тригуб В. В., Попов В. Г., Николенко, М. В., Белина С. А., Аксентьева В. В., 2024



<sup>1</sup> trigubvv@tyuiu.ru // orcid.org / 0000-0002-4464-7346

<sup>2</sup> popovvg@tyuiu.ru // orcid.org / 0000-0002-5902-1768

<sup>3</sup> novopaschinamv@mail.ru // orcid.org / 0000-0002-1099-0656

<sup>4</sup> belinasa@tyuiu.ru // orcid.org / 0000-0002-0142-2905

<sup>5</sup> aksentevavv@tyuiu.ru // orcid.org / 0000-0001-7154-8944

**Abstract.** *In the modern food industry, a promising direction is the design and use of substances in the form of complex food additives (CFAs), which have a physiological orientation for the enrichment of culinary and confectionery products in order to increase the nutritional value of the finished product. The use of Arctic raw materials for the production of meat and plant products is a current trend, because... reduces the energy value while simultaneously increasing minerals, fiber, protopectins, which form the adaptogenic properties of the finished product. The recipe and technology for producing meat-and-vegetable pate based on venison meat by-products and a complex food additive (CI) obtained from Arctic plant raw materials are presented. The complex food supplement is a phospholipid-mineral-vitamin complex in the form of a powdery mass (with a particle size of 70-90 microns). The additive has a high moisture-binding and moisture-retaining ability and does not form a gel during heat treatment of pates. We used standard methods for studying the quality of pate: organoleptic, physicochemical, microbiological. We used heat treatment of the semi-finished product using the sous-vide method, which made it possible to reduce the loss of minerals from 10.0 to 14.5%, vitamins from 3.0% to 17.2%, and also to extend the shelf life of finished products by 35 days, in comparison with traditional technology - cooking. The developed pate has higher antioxidant properties by 4.2-5.3% compared to the control sample. The developed meat-and-vegetable pate has functional properties in terms of fiber content, which allows us to recommend this recipe for production and implementation in food industry and public catering enterprises in the Arctic.*

**Keywords:** *functional product, complex food additive, arctic raw materials, microbiological indicators, physico-chemical indicators.*

**For citation:** Trigub, V.V. Popov, V.G., Nikolenko, M.V., Belina, S.A. & Aksentjeva, V.V. (2024). Development of a recipe for meat and vegetable pate functional purpose from arctic raw materials. *Polzunovskiy vestnik.* (4), 93-98. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.014. EDN: <https://elibrary.ru/JXA-BJJ>.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений социально-экономического развития Российской Федерации является развитие продовольственной безопасности [1]. Важнейшим направлением является обеспечение населения качественными и полноценными продуктами питания, повышающими резистентность организма, особенно проживающих в отдалённых или экстремальных природно-климатических условиях Арктики. Важнейшим компонентом профилактического питания может являться продукция, полученная в результате глубокой переработки мяса и субпродуктов оленя северного, способствующая расширению ассортимента диетических продуктов, а также внедрению безотходного производства. На территории российской Арктики содержится более 1629,6 тыс. оленей. Данный вид мяса и субпродукты содержат наибольшее количество полноценных белков животного происхождения, значительное количество макро- и микронутриентов [2]. Утверждённая президентом РФ Путиным В.В. в феврале 2013 г. «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности» направлена на создание института продовольственной безопасности с целью повышения качества жизни населения в Арктической зоне» [3].

Пищевая ценность и химический состав мяса и субпродуктов северного оленя хорошо изучены и доказано, что они являются эффективными адаптогенами. Белки оленины, активизирующие клеточный метаболизм, содержат все незаменимые аминокислоты и приближены к оптимальному соотношению [4].

Интенсивная информированность граждан о ценности питания способствует повышению спроса населения на комбинированные продукты питания на основе сырья животного и растительного происхождения, а также рациональному использованию сырьевых ресурсов. Основное преимущество комбинированной продукции заключается в наличии дефицитной клетчатки, содержанию протопектинов, минеральных веществ с пониженной калорийностью.

Пищевые продукты функционального назначения на основе субпродуктов оленины в России представлены в меньшем количестве, чем другие группы продуктов, ввиду сложности производства, длительной высокотемпературной обработки, сохранности биологически активных веществ в готовой продукции.

**Целью исследования** является проектирование рецептуры и технологии серийного производства паштета функционального назначения, на основе мяса и субпродуктов

## РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ПАШТЕТА МЯСОРАСТИТЕЛЬНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ АРКТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

олени северного, обогащённого комплексной пищевой добавкой растительного происхождения с использованием инновационного способа тепловой обработки.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве основных объектов исследования для производства паштета выступало арктическое сырьё – субпродукты I категории (печень, сердце) оленя северного. Объекты исследования, ингредиенты рецептуры представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Объекты исследования

Table 1 – Objects of research

Наименование	Нормативный документ
Субпродукты оленя северного (печень, сердце)	ГОСТ 32244-2013
Лук репчатый	ГОСТ 34306-2017
Вода питьевая	СанПиН 2.1.4.1116-02 с изм. от 2010 г.
Соль пищевая	ГОСТ Р 51574-2018
Масло подсолнечное рафинированное	ГОСТ 1129-2013
Перец черный молотый	ГОСТ 29050-91
Орех мускатный дробленый	ГОСТ 29048-91

Определение массовой доли белка в паштете проводили методом минерализации органических веществ паштета с дальнейшим определением азота [5].

Определение массовой доли жира в паштете проводили экстракцией из высушенной пробы в аппарате Сокслета с последующим взвешиванием [6].

Количество витаминов группы В определяли методом извлечения тиамин из анализируемой пробы раствором серной кислоты, дальнейшей экстракцией окисленной формы из водной фазы изобутиловым спиртом и измерении интенсивности флуоресценции [7].

Содержание железа в мясном паштете определяли с предварительной минерализацией колориметрическим методом анализа [8].

Массовую долю общего фосфора в паштете определяли спектрофотометрическим методом [9].

Органолептическая оценка экспериментального образца паштета проведена согласно ГОСТ ISO 13299-2015.

Определение микробиологических показателей КМАФАнМ, БГКП (колиформы), условно-патогенные (*S. aureus*) и патогенные микроорганизмы (в том числе *Salmonella*), дрожжи и плесневелые грибы по ГОСТ Р

56145-2014, ГОСТ 29185-2014, ГОСТ 31659-2012, ГОСТ 31746-2012, ГОСТ 31747-2012, СанПиН 2.3.2.1324-03 и МУК 4.2.1847-04.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Паштеты последнее время набирают большую популярность среди потребителей как продукт, полностью готовый к употреблению, обладающий высокой пищевой ценностью.

Для увеличения пищевой ценности и придания функциональных свойств в рецептуру паштета была включена комплексная пищевая добавка (КПД), в состав которой включено арктическое растительное сырьё, собранное на территории ХМАО-Югра с июля по сентябрь: корень сабельника болотного (*Comarum palustre*), ягоды клюквы (*Oxycoccus palustris*), ягоды водяники (*Empetrum nigrum L.*). Все собранные дикорастущие растения подвергались мойке и инспекции, после чего высушивали в лиофильной сушилке в течение 12 ч при  $t = -55 \pm 1$  °С. Высушенное сырьё измельчали до размеров 40–50 мкм.

Таблица 2 – Соотношение исходных ингредиентов, мас. %

Table 2 – The ratio of the initial ingredients, wt. %

Наименование сырья	Контроль (I вариант)	Опыт (II вариант)
Печень оленя северного	45,0	45,0
Мясо оленя северного	25,0	25,0
Лук репчатый	10,0	10,0
Масло подсолнечное рафинированное	5,0	5,0
Вода питьевая	6,6	6,6
Соль поваренная	1,0	1,0
Перец черный молотый	0,2	0,2
Орех кедровый молотый	0,2	0,2
Крахмал картофельный	7,0	–
КПД	–	7,0

Для образования комплексного соединения, повышающего усвояемость минеральных веществ в организме человека, включены дополнительные ингредиенты: лецитин соевый (в качестве эмульгатора), кислота янтарная, 0,1 % раствор  $\text{CaCl}_2$ . Для повышения антиоксидантной активности продукции ввели альфа-токоферола ацетат.

Технология получения КПД предусматривает процесс комплексообразования в биохимическом реакторе до формирования однородной консистенции продолжительностью 4 часа, при температуре 65 °С. После из-

мельчения получили порошкообразную массу с размером частиц 70–80 мкм.

В таблице 2 представлена рецептура проектируемого паштета функционального назначения «Арктический».

В таблицах 3 и 6 представлена сравнительная характеристика разработанного паштета «Арктический» с контрольным образцом, изготовленным по традиционной технологии – паштет из оленьеи печени, произведённый МПК «Норильский» (арт. ЦБ-00019540), выход 100 г по показателям: пищевая и энергетическая ценность, содержание нутриентов.

Таблица 3 – Содержание макронутриентов, 100 г  
Table 3 – The content of macronutrients in pate from Arctic raw materials, 100 g

Наименование изделия	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, ккал
Паштет из печени оленя (МПК «Норильский»)	8,8	26,9	1,9	269,9
Паштет «Арктический»	11,2	21,8	4,7	219,8

Проведена органолептическая оценка экспериментального образца паштета «Арктический» согласно ГОСТ ISO 13299-2015, в процессе исследований получены результаты, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Органолептическая оценка паштета «Арктический»

Table 4 – Organoleptic evaluation of the Arctic pate

Наименование	Паштет «Арктический»
Внешний вид	Батоны с чистой сухой поверхностью, без повреждения оболочки, наплывов фарша, слипов, бульонных и жировых отёков
Вкус и запах	Свойственные данному виду продукта, без постороннего привкуса и запаха, с выраженным ароматом субпродуктов, пряностей
Цвет	Серый, окраска равномерная
Консистенция	На разрезе пастообразная
Структура	Структура фарша мажущаяся

Сравнительные характеристики позволили сделать вывод, что внесение КГД на основе растительного сырья улучшили органолептические показатели готового изделия. Продукция стала более упругой, имела приятный запах и аромат.

В таблице 5 представлены допустимые и

фактические микробиологические показатели исследуемой продукции.

Таблица 5 – Микробиологические исследования безопасности паштета из печени

Table 5 – Microbiological studies of the safety of liver pate

Наименование показателя	Допустимые уровни	Фактическое содержание в паштете «Арктический»
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более:	Не более $1 \times 10^3$ КОЕ/г	$\leq 10 \times 10^2$ КОЕ/г
Бактерии группы кишечной палочки (колиформы)	Не допускаются в 1,0 г	Не выявлены
Сульфитредуцирующие клостридии	Не допускаются в 1,0 г	Не выявлены
S.aureus	Не допускаются в 0,1 г	Не выявлены
Патогенные микроорганизмы	Не допускаются в 25 г	Не выявлены

Индекс КМАФАнМ – интегрированный показатель, представленный различными таксономическими группами микроорганизмов, который дает представление об эпидемической обстановке региона и процессах самоочищения биотопа. КМАФАнМ – наиболее распространенный тест на микробную безопасность. При этом исходят из предположения, что чем больше объект загрязнен органическими веществами, тем выше КМАФАнМ, и тем, вероятнее, присутствие патогенов. Однако высокие значения показателя могут быть за счет сапрофитов, а патогены будут отсутствовать. Поэтому более адекватно расценивать общее число микроорганизмов как показатель интенсивности загрязнения внешней среды органическими веществами.

Согласно проведенным исследованиям, КМАФАнМ составило менее  $10 \times 10^2$  КОЕ/г. Паштет упакован в полимерную пленку с дополнительным пакетом из ламинатов с применением вакуума, согласно ГОСТ Р 55334-2012 рекомендуемый срок годности данного изделия не более 40 суток при температуре от 0 °С до 6 °С. После вскрытия упаковочного материала рекомендуемый срок годности паштета не более 3 суток до истечения сроков годности упакованной продукции при температуре от 0 °С до 6 °С.

Результаты исследования паштета «Арктический» по витаминам и минеральным веществам представлены в таблице 6.

**РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ПАШТЕТА МЯСОРАСТИТЕЛЬНОГО  
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ АРКТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ**

Таблица 6 – Содержание микронутриентов паштета «Арктический» 100 г

Table 6 – The content of micronutrients of the Arctic pate, 100 g

Наименование БАВ	Паштет (традиционная рецептура)	Паштет «Арктический»	Суточная норма потребления*	% от суточной нормы потребления
Клетчатка	0,0	7,5 ± 0,4	25,0	30,0
β-каротин, мг	3,14 ± 0,2	3,5 ± 0,1	5,0	70,0
Витамин Е, мг	0,1 ± 0,01	5,7 ± 0,8	15,0	38,0
Витамин В <sub>1</sub> , мг	0,24 ± 0,05	0,7 ± 0,1	1,5	46,7
Витамин В <sub>2</sub> , мг	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,2	1,8	77,8
Витамин В <sub>6</sub> , мг	0,48 ± 0,15	0,5 ± 0,1	2,0	25,0
Фосфор, мг	189,9 ± 8,5	212,3 ± 7,5	700,0	30,3
Железо, мг	4,6 ± 0,7	5,3 ± 1,05	10	53,0
Фосфолипиды, мг	≤ 0,01	3990 ± 5,4	7000	57,0

\*Для мужчин, которые относятся к 4 группе физической активности (30–44 лет), согласно МР 2.3.1.0253-21 [10].

В технологический процесс приготовления паштета из арктического сырья включена инновационная тепловая обработка паштета по технологии *sous-vide*, которая способствует сохранению минеральных веществ от 10,0 до 14,5 %, витаминов от 3,0 % до 17,2 %, а также увеличивает сроки хранения готовой продукции на 35 дней.

Согласно таблице 6, в разработанной рецептуре паштета «Арктический» с учетом потерь при тепловой обработке свыше 15 % от суточной нормы потребления наблюдается увеличение клетчатки до 30,0 % от суточной нормы, витаминов Е, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, β-каротина, железа, фосфора, а также фосфолипидов.

### ВЫВОДЫ

Арктическое сырьё позволило получить новые продукты питания профилактического назначения для населения арктических регионов. Разработанная рецептура паштета и предложенная технология позволяют получать продукцию с повышенной пищевой и биологической ценностью, улучшенными органолептическими показателями, что позволяет отнести её к функциональным продуктам питания по содержанию клетчатки в готовом паштете.

Проведены сравнительные характеристики паштета «Арктический» с контрольным образцом промышленного изготовления МПК «Норильский» по показателям ГОСТ 54059-2010. По всем показателям продукция соответствует требованиям.

Преимущества: разработанный образец паштета обладает более высокими антиоксидантными свойствами на 4,2–5,3 %.

Использование способа тепловой обработки *sous-vide* позволили сохранить в экспериментальном образце содержание витаминов и особенно минеральных веществ в сравнении с контролем.

Паштет «Арктический» обладал более высокими влагоудерживающими (на 4,5 %) и влагосохраняющими (3,7 %) свойствами ввиду наличия КПД растительного происхождения и особенно – по содержанию клетчатки свыше 15 % от суточной нормы потребления. При увеличении внесения КПД в рецептуру наблюдались более высокие показатели, но при этом наблюдалось ухудшение гомогенных свойств и расслоение продукции.

Проектирование паштета функционального назначения из арктического сырья с повышенными физико-химическими показателями позволяют расширить возможность совместного использования продукции животного и растительного происхождения для разработки широкой линейки профилактической и диетической продукции, предназначенной, прежде всего, для населения, работающего в экстремальных условиях Арктики.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации»
2. Попов В.Г. Развитие технологии производства специализированных продуктов питания для населения Арктики / В.Г. Попов, С.А. Белина, О.С. Федорова // Ползуновский вестник. 2017. № 3. С. 14–19.
3. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. Указ Президента РФ от 26.10.2020 г., № 645.
4. Белина С.А. Проектирование и оценка качества мясосодержащих продуктов из арктического сырья: дис. ... канд техн. наук : 05.18.15 / Белина С.А. Екатеринбург, 2022. 154 с.
5. ГОСТ 25011-2017. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. дата введения 2018-07-01. Москва : Стандартинформ, 2018. 14 с.
6. ГОСТ 23042-2015. Мясо и мясные продукты.

ты. Методы определения жира. Дата введения 2017-01-01. Москва : Стандартинформ, 2017. 8 с.

7. ГОСТ 32042-2012 Премикусы. Методы определения витаминов группы В. дата введения 2012-01-01. Москва : Стандартинформ, 2012 15 с.

8. ГОСТ 26928-86 Продукты пищевые. Метод определения железа. дата введения. 1986-01-01. Москва : Стандартинформ, 1986. 23 с.

9. ГОСТ 9794-2015 Продукты мясные. Методы определения содержания общего фосфора. дата введения 2017-01-01. Москва : Стандартинформ, 2017. 12 с.

10. МР 2.3.1.0253-21 (2021). Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Moscow : Rospotrebnadzor. (In Russ.).

#### **Информация об авторах**

*В. В. Тригуб – к.б.н., доцент кафедры товароведения и технологии продуктов питания, Тюменский индустриальный университет.*

*В. В. Попов – д.т.н., профессор кафедры товароведения и технологии продуктов питания, Тюменский индустриальный университет.*

*М. В. Николенко – д.б.н., профессор кафедры микробиологии, Тюменский государственный медицинский университет.*

*С. А. Белина – к.т.н., доцент кафедры товароведения и технологии продуктов питания, Тюменский индустриальный университет.*

*В. В. Аксентьева – ассистент кафедры товароведения и технологии продуктов питания, Тюменский индустриальный университет.*

#### **Information about the authors**

*V.V. Trigub - Candidat of Biological Sciences, Associate of the Department of Commodity Science and Food Technology, Tyumen Industrial University.*

*V.G. Popov - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Commodity Science and Food Technology, Tyumen Industrial University.*

*M.V. Nikolenko - Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Microbiology, Tyumen State Medical University.*

*S.A. Belina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Commodity Science and Food Technology, Tyumen Industrial University.*

*V.V. Aksentieva - Assistant of the Department of Commodity Science and Food Technology, Tyumen industrial university.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 11 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 11 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 664.76

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.015



## СТОЙКОСТЬ ПРИ ХРАНЕНИИ МУКИ ИЗ СОРГО, ПОЛУЧЕННОЙ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ

Людмила Витальевна Анисимова <sup>1</sup>, Екатерина Сергеевна Серебренникова <sup>2</sup>,  
Екатерина Олеговна Гергерт <sup>3</sup>, Данил Юрьевич Гузий <sup>4</sup>

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> anisl@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7900-2935>

<sup>2</sup> silver.775594@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0651-3512>

<sup>3</sup> kalya.gergert.01@mail.ru

<sup>4</sup> rend-i@mail.ru

**Аннотация.** Изучено влияние способа получения сорговой муки на стойкость при хранении, которую оценивали по влажности, кислотности по болтушке и кислотности по водно-спиртовой вытяжке. Исследованы следующие способы возможного повышения стойкости муки при хранении: частичное удаление оболочек и зародыша при шелушении-шлифовании зерна и проведение гидротермической обработки (ГТО) зерна сорго при подготовке его к шелушению. При этом применяли два способа ГТО: с интенсивным увлажнением под вакуумом, отволаживанием и сушкой зерна и с пропариванием и сушкой зерна. Кроме того, вырабатывали муку из зерна сорго, не подвергавшегося ГТО и не прошедшего операцию шелушения-шлифования (цельнозерновую). Зерно и ядро измельчали на лабораторной молотковой мельнице со встроенным ситом № 08. Свежесмолотую сорговую муку направляли на хранение при относительной влажности воздуха  $65\pm 0,1\%$  и температуре  $20\pm 0,5$  и  $40\pm 1$  °С. Муку хранили в текстильных (хлопковых) мешках и полиэтиленовых пакетах.

Установлено, что способ получения сорговой муки практически не оказал влияния на равновесную влажность муки из голозерного сорго, хранившейся при постоянной температуре; включение в технологическую схему подготовки сорго к измельчению операций шелушения-шлифования и гидротермической обработки зерна стабилизировало свойства сорговой муки при хранении: замедлился рост титруемой кислотности как по болтушке, так и по водно-спиртовой вытяжке; лучшая стойкость при хранении по исследованным показателям качества отмечена у муки из голозерного сорго, прошедшего ГТО с пропариванием, затем следует сорговая мука из зерна, прошедшего ГТО с интенсивным увлажнением под вакуумом, далее – сорговая мука из шелушеного, но не подвергнутого ГТО зерна; наименьшую стойкость при хранении имела цельнозерновая сорговая мука; упаковка в полиэтиленовые пакеты показала лучшую сохранность сорговой муки по сравнению с упаковкой в тканевые мешки.

**Ключевые слова:** сорговая мука, шелушение-шлифование, гидротермическая обработка, пропаривание, сушка, увлажнение, вакуум, влажность, кислотность по болтушке, кислотность по водно-спиртовой вытяжке, хранение.

**Для цитирования:** Анисимова Л. В., Серебренникова Е. С., Гергерт Е. О., Гузий Д. Ю. Стойкость при хранении муки из сорго, полученной разными способами // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 99–105. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.015, EDN: <https://elibrary.ru/HIPCZG>.

Original article

## STORAGE STABILITY OF SORGHUM FLOUR PRODUCED BY DIFFERENT METHODS

Lyudmila V. Anisimova <sup>1</sup>, Ekaterina S. Serebrennikova <sup>2</sup>,  
Ekaterina O. Gergert <sup>3</sup>, Danil Yu. Guziy <sup>4</sup>

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> anisl@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7900-2935>

<sup>2</sup> silver.775594@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0651-3512>

© Анисимова Л. В., Серебренникова Е. С., Гергерт Е. О., Гузий Д. Ю., 2024

<sup>3</sup> katya.gergert.01@mail.ru

<sup>4</sup> rend-i@mail.ru

**Abstract.** The effect of the method of sorghum flour production on its storage stability, assessed by moisture content, acidity by beaten-up flour and water, and acidity by aqueous-alcoholic extract, was studied. The following methods for increasing the storage stability of flour were investigated: partial removal of the hulls and germ during grain hulling and polishing, and hydrothermal treatment (HTT) of sorghum grain during its preparation for hulling. Two HTT methods were used: with intensive moistening under vacuum, grain resting and drying, and with grain steaming and drying. In addition, flour was produced from sorghum grain that was not subjected to HTT and did not undergo the hulling and polishing operation (whole grain flour). The grain and kernel were ground in a laboratory hammer mill with a built-in sieve No. 08. Freshly ground sorghum flour was sent for storage at a relative air humidity of  $65 \pm 0.1\%$  and a temperature of  $20 \pm 0.5$  and  $40 \pm 1$  °C. The flour was stored in textile (cotton) bags and polyethylene packages.

It was found that the method for obtaining sorghum flour had virtually no effect on the equilibrium moisture content of sorghum flour stored at a constant temperature; the inclusion of hulling-polishing and hydrothermal treatment of grain in the technological scheme for preparing sorghum for grinding stabilized the properties of sorghum flour during storage: the growth of titratable acidity slowed down both for the acidity by beaten-up flour and water and for the acidity by aqueous-alcoholic extract; the best shelf life according to the studied quality indicators was noted for flour from grain that underwent HTT with steaming, followed by flour from grain that underwent HTT with vacuum humidification, then flour from hulled but not HTT-treated grain; whole grain flour had the lowest shelf life; packaging in polyethylene bags showed better preservation of sorghum flour compared to packaging in textile bags.

**Keywords:** sorghum flour, hydrothermal treatment, hulling-polishing, steaming, drying, moistening, vacuum, moisture content, acidity by beaten-up flour and water, acidity by water-alcohol extract, storage.

**For citation:** Anisimova, L.V., Serebrenikova, E.S., Gergert, E.O. & Guziy, D.Yu. (2024). Storage stability of sorghum flour produced by different methods. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 99-105. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.015. EDN: <https://elibrary.ru/HIPCZG>.

## ВВЕДЕНИЕ

Зерновое сорго – перспективная культура для возделывания в засушливых районах Алтайского края. Отличительными особенностями растения сорго являются не только засухоустойчивость, но и способность давать хорошие урожаи на солончаковых и засоленных почвах [1, 2]. В Алтайском крае насчитывается около 3,3 млн. га таких почв [3].

Зерно сорго имеет характерный для злаковых культур химический состав, % на сухое вещество: белок – 12,3; крахмал – 79,8; жир – 3,6 [4]. Кроме того, в зерне данной культуры содержатся витамины В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, РР и др. В состав зерна сорго входит также каротин, микро- и макроэлементы [5].

Продукты переработки сорго могут расширить ассортимент добавок при выпечке хлебоулучшающих изделий [6].

При производстве продуктов питания и сырья, используемого при их изготовлении, в том числе муки из крупяных культур, большое внимание уделяется повышению стойкости продукции при хранении. Увеличение сроков хранения муки позволяет создавать ее запасы на зерноперерабатывающих предприятиях и предприятиях пищевой промышленности, что стабилизирует их работу и, в конечном итоге, повышает эффективность производства.

Целью данного исследования явился

поиск технологических способов увеличения продолжительности хранения сорговой муки без ухудшения ее качества.

## МЕТОДЫ

Нами изучены следующие способы возможного повышения стойкости сорговой муки при хранении: частичное удаление оболочек и зародыша при шелушении-шлифовании зерна и проведение гидротермической обработки (ГТО) зерна сорго при подготовке его к шелушению. При этом применяли два способа ГТО: с пропариванием и сушкой зерна и с интенсивным увлажнением зерна под вакуумом, отволаживанием и сушкой.

В опытах использовали красное голозерное сорго сорта Орловское.

Изучали стойкость при хранении четырех образцов сорговой муки:

*P* – из голозерного сорго, подвергнутого ГТО с пропариванием и сушкой и прошедшего операцию шелушения-шлифования;

*V* – из голозерного сорго, подвергнутого ГТО с интенсивным увлажнением под вакуумом, отволаживанием и сушкой и прошедшего операцию шелушения-шлифования;

*WH* (без ГТО) – из голозерного сорго, не подвергнутого ГТО, прошедшего операцию шелушения-шлифования;

*WG* (цельнозерновая) – из голозерного



## СТОЙКОСТЬ ПРИ ХРАНЕНИИ МУКИ ИЗ СОРГО, ПОЛУЧЕННОЙ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ

сорго, не подвергнутого ГТО и не прошедшего операцию шелушения-шлифования.

Блок-схема получения сорговой муки в исследовании приведена на рисунке 1.

Шелушение-шлифование зерна осуществляли на лабораторной установке типа ЗШН. Для проведения гидротермической обработки зерна использовали лабораторное оборудование: шнековую вакуумную установку, пропариватель периодического действия, сушилку с сушкой зерна в псевдоожиженном слое. Помол зерна и ядра сорго осуществляли на лабораторной молотковой мельнице со встроенным металлочаным ситом № 08.

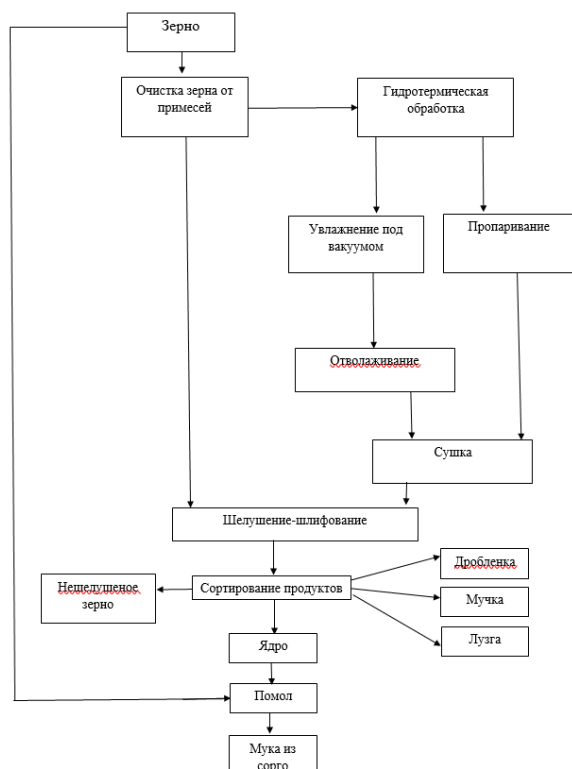


Рисунок 1 – Блок-схема получения сорговой муки

Figure 1 – Block diagram of the production of sorghum flour

Сорговую муку, упакованную в текстильные (хлопковые) мешки и полиэтиленовые пакеты, хранили в эксикаторах, в которых поддерживали относительную влажность воздуха  $65 \pm 0,1$  %. Эксикаторы, в свою очередь, помещали в термостаты с температурой  $20 \pm 0,5$  и  $40 \pm 1$  °С. Повышенную температуру хранения применили, руководствуясь методикой «ускоренного старения» [7].

В процессе хранения контролировали влажность муки, кислотность по болтушке и кислотность по водно-спиртовой вытяжке. Использовали действующие стандартные и общепринятые методики.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важнейших показателей качества муки является ее влажность.

В опытах поддерживали относительную влажность воздуха на уровне не выше 65–70 %. При более высокой относительной влажности воздуха возможно излишнее поглощение влаги мукой, что приведет к ее переувлажнению и последующей порче.

Характер изменения влажности сорговой муки при хранении прослеживается по данным, приведенным в таблице 1.

В процессе хранения во всех образцах муки из сорго установилась равновесная влажность. Заметное влияние на уровень равновесной влажности оказала температура, при которой образцы хранились.

Следует отметить, что влажность закладываемых на хранение образцов сорговой муки, полученных из зерна, подвергнутого обоим способам ГТО и прошедшего шелушение-шлифование, была на 0,5–1 % выше влажности муки, полученной из шелушеного ядра и цельнозерновой муки. Эта разница сказалась на процессах поглощения-выделения паров воды муки из сорго.

Таблица 1 – Влияние продолжительности хранения муки из голозерного сорго на ее влажность  
Table 1 – Influence of the storage time of flour from naked grain sorghum on its moisture content

Способ получения муки, вид упаковки	Продолжительность хранения, сут.									
	0	14	28	42	56	84	112	140	168	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Температура 20 °С										
Р: ГТО зерна сорго с пропариванием, текстильные мешки	11,5	–	11,7	–	11,0	11,1	11,4	11,5	11,6	
У: ГТО зерна сорго с увлажнением под вакуумом, текстильные мешки	11,8	11,8	12,1	11,5	11,2	11,2	11,4	11,8	11,9	
WH: без ГТО зерна сорго, из шелушеного ядра, текстильные мешки	10,5	10,5	10,8	11,1	11,2	11,2	11,4	11,7	11,7	

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WG: цельнозерновая сорговая, текстильные мешки	11,0	–	11,0	–	11,2	11,2	11,5	11,6	11,9
Температура 40 °С									
P: ГТО зерна сорго с пропариванием, текстильные мешки	11,5	–	11,2	–	10,8	10,9	10,8	10,9	10,8
P: ГТО зерна сорго с пропариванием, полиэтиленовые пакеты	11,5	–	11,2	–	10,5	10,6	10,5	10,3	10,5
V: ГТО зерна сорго с увлажнением под вакуумом, текстильные мешки	11,8	11,4	11,6	11,3	11,4	11,0	11,0	10,9	10,8
V: ГТО зерна сорго с увлажнением под вакуумом, полиэтиленовые пакеты	11,8	–	11,5	–	10,8	10,6	10,5	10,4	10,5
WH: без ГТО зерна сорго, из шелушеного ядра, текстильные мешки	10,5	11,4	11,0	11,0	11,0	10,8	10,8	10,8	10,8
WH: без ГТО зерна сорго, из шелушеного ядра, полиэтиленовые пакеты	10,5	–	11,4	–	10,8	10,8	10,6	10,4	10,6
WG: цельнозерновая сорговая, текстильные мешки	11,0	–	11,5	–	11,0	10,6	10,6	10,7	10,8

Влажность сорговой муки, выработанной из зерна после обоих способов ГТО (*P* и *V*), в процессе хранения при температуре 20 °С практически не изменилась. Сорговая мука хранилась в текстильных мешках, обеспечивающих достаточный доступ воздуха к продукции. Следовательно, данные образцы муки изначально имели влажность, близкую к равновесной. В образцах сорговой муки *WH* и *WG* шел процесс сорбции паров воды. В результате установилась равновесная влажность, близкая к влажности сорговой муки из зерна, прошедшего ГТО.

При хранении сорговой муки, полученной из зерна после ГТО (*P* и *V*), при температуре 40 °С, отмечено развитие процессов десорбции паров воды. Влажность сорговой муки *WG* изначально была близка к равновесной. Влажность сорговой муки *WH* в процессе хранения при 40 °С несколько повысилась.

В целом, при хранении сорговой муки при температуре 40 °С равновесная влажность всех образцов установилась ниже, чем при 20 °С.

Сравнение разных видов упаковки показало, что влажность образцов в полиэтиленовых пакетах установилась на несколько более низком уровне, чем в текстильных мешках. В связи с тем, что при упаковке сорговой муки в полиэтиленовые пакеты в них остался воздух, а пакеты достаточно герметичны и не пропускают наружный воздух, хранящаяся в них мука приобрела влажность, равновесную условиям внутри пакетов. Более низкая влажность сорговой муки в полиэтиленовых пакетах способствует более длительному хранению сорговой муки.

Свежесть муки при хранении оценивают по ее титруемой кислотности.

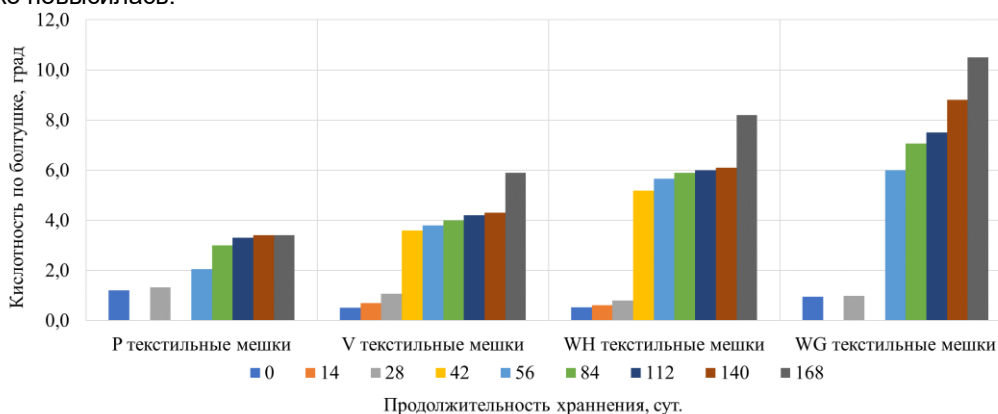


Рисунок 2 – Влияние продолжительности хранения при температуре 20 °С муки из сорго, полученной разными способами, на ее кислотность по болтушке

Figure 2 – The effect of the storage duration at a temperature of 20 °С of sorghum flour, obtained in various ways, on its acidity by beaten-up flour and water

## СТОЙКОСТЬ ПРИ ХРАНЕНИИ МУКИ ИЗ СОРГО, ПОЛУЧЕННОЙ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ

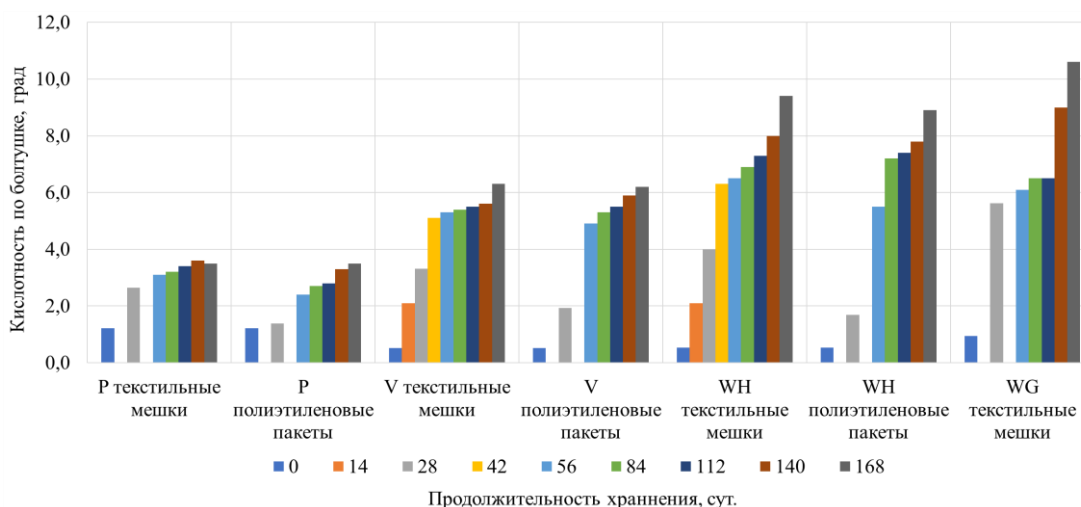


Рисунок 3 – Влияние продолжительности хранения при температуре 40 °С и вида упаковки муки из сорго, полученной разными способами, на ее кислотность по болтушке

Figure 3 – The effect of the storage duration at a temperature of 40 °C and type of packaging of sorghum flour, obtained in various ways, on its acidity by beaten-up flour and water

Кислотность по болтушке характеризует присутствие в образце муки водорастворимых органических кислот, фосфорной кислоты, кислых фосфатов. Кроме того, щелочь, используемую при титровании, способны связывать карбоксильные группы белков и нерастворимые в воде свободные жирные кислоты, входящие в состав титруемой суспензии. На рисунках 2 и 3 приведены диаграммы, отражающие влияние продолжительности хранения образцов сорговой муки, полученной разными способами, на кислотность по болтушке при температуре хранения 20 и 40 °С соответственно. На диаграмме, приведенной на рисунке 3, показано также влияние способа упаковки на исследуемый показатель.

Из представленных данных следует, что способ получения сорговой муки оказывает существенное влияние на изменение кислотности по болтушке исследуемых образцов продукта. Во всех образцах сорговой муки с увеличением продолжительности хранения кислотность возрастает. Однако наиболее быстрый рост данного показателя отмечен для цельнозерновой сорговой муки (WG), т. е. муки из зерна, не подвергавшегося ГТО и не прошедшего шелушения. Сорговая мука, выработанная из зерна, не подвергавшегося ПТО, но прошедшего шелушение (WH), имеет большую стойкость при хранении, чем сорговая мука WG. Это можно объяснить тем, что значительная часть кислореагирующих веществ содержится в оболочках и зародыше, которые частично удаляются при шелушении зерна.

В сорговой муке, выработанной с использованием обоих способов ГТО зерна, (P и V) кислотность по болтушке в процессе хранения возрастает в меньшей степени, чем в сорговой муке WG и WH. Полученные результаты связаны с частичной инактивацией ферментов, под воздействием тепла и влаги [8] на этапах про-

паривания и сушки при ГТО с пропариванием зерна и на этапе сушки при ГТО с увлажнением зерна под вакуумом.

Наибольшую стойкость при хранении показала сорговая мука, выработанная с использованием пропаривания зерна (P). Это объясняется более жесткими режимами данного способа ГТО.

Повышенная температура хранения привела к более быстрому увеличению кислотности по болтушке всех образцов сорговой муки. Если при температуре 20 °С заметный скачок кислотности сорговой муки, упакованной в текстильные мешки, отмечен на 42 и 56 сутки, то при температуре 40 °С – на 14 и 28 сутки хранения.

Методику «ускоренного старения» можно применять не только для более быстрого определения сроков годности муки, но и для изучения влияния дополнительных факторов на стойкость муки при хранении. Так, при температуре хранения 40 °С исследовали влияние вида упаковки на кислотность сорговой муки по болтушке.

Отмечены более низкие темпы возрастания кислотности и меньший уровень кислотности в конце исследуемого срока хранения сорговой муки, упакованной в полиэтиленовые пакеты, по сравнению с мукой, помещенной в текстильные мешки. Рост кислотности сорговой муки вызван окислительными процессами, протекающими в ней под воздействием ферментов. В связи с почти полным отсутствием притока наружного воздуха внутрь достаточно плотно закрытых пакетов, на окислительные процессы в муке расходуется только кислород, попавший в пакеты при упаковке. В итоге кислотность сорговой муки увеличивается в меньшей степени.

Изучение влияния продолжительности хранения сорговой муки на кислотность по водно-спиртовой вытяжке позволило получить дополнительную информацию об изменении качества муки.

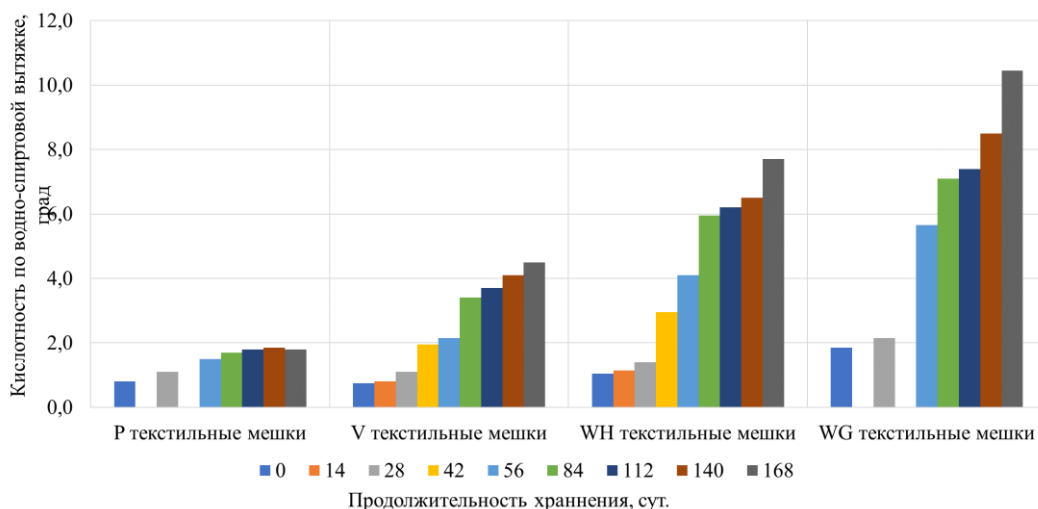


Рисунок 4 – Влияние продолжительности хранения при температуре 20 °С муки из сорго, полученной разными способами, на ее кислотность по водно-спиртовой вытяжке

Figure 4 – The effect of the storage duration at a temperature of 20 °C of sorghum flour, obtained in various ways, on its acidity by water-alcohol extract

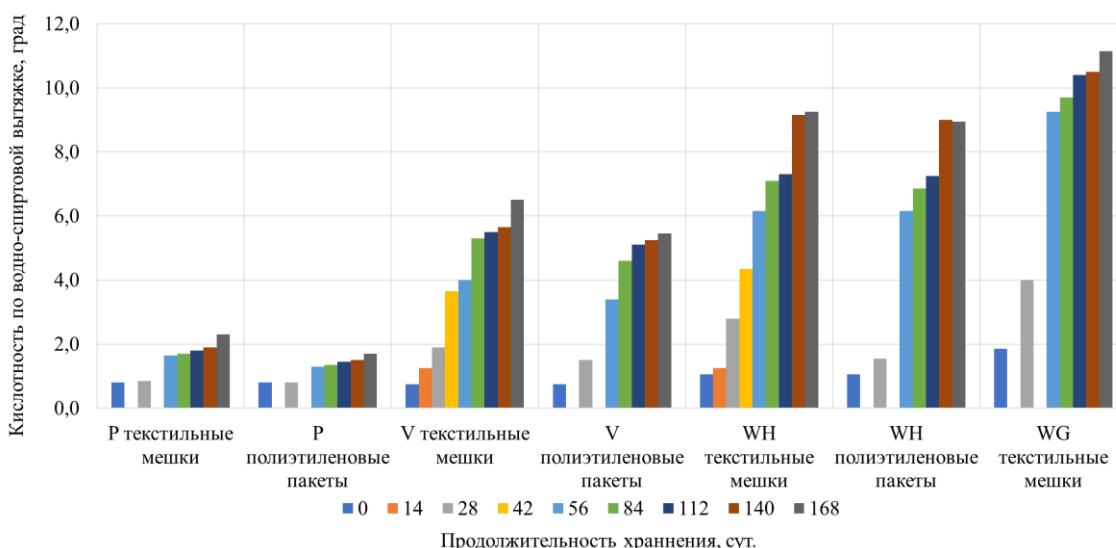


Рисунок 5 – Влияние продолжительности хранения при температуре 40 °С и вида упаковки сорговой муки, полученной разными способами, на ее кислотность по водно-спиртовой вытяжке

Figure 5 – The effect of the storage duration at a temperature of 40 °C and type of packaging of sorghum flour, obtained in various ways, on its acidity by water-alcohol extract

Из представленных на диаграммах данных (рис. 4, 5) видно, что с увеличением продолжительности хранения кислотность по водно-спиртовой вытяжке во всех образцах сорговой муки, как и кислотность по болтушке, возрастает. Однако уровень данного показателя ниже, чем уровень кислотности по болтушке.

Анализ диаграмм показал, что наименьшую кислотность по водно-спиртовой вытяжке в процессе хранения приобрели образцы сорговой муки, полученной из пропаренного зерна (P). Далее в порядке увеличения кислотности следует сорговая мука из зерна, прошедшего ГТО с увлажнением под вакуумом (V), сорговая

мука из шелушенного, не прошедшего ГТО зерна (WH), цельнозерновая сорговая мука (WG).

Темпы роста и уровень кислотности по водно-спиртовой вытяжке образцов муки из сорго, хранившихся при температуре 40 °С, выше, чем при температуре 20 °С. Упаковка муки из сорго в полиэтиленовые пакеты привела к снижению уровня кислотности по водно-спиртовой вытяжке. Таким образом, тенденции изменения кислотности по водно-спиртовой вытяжке сорговой муки, полученной разными способами и помещенной в различные упаковки, совпадают с характером изменения кислотности сорговой муки по болтушке.

Более низкий уровень кислотности по водно-

спиртовой вытяжке по сравнению с кислотностью по болтушке объясняется тем, что в раствор этилового спирта перешли не все кислореагирующие вещества. Однако кислотность по водно-спиртовой вытяжке более четко сигнализирует о гидролизе жиров и свежести сорговой муки.

### ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- способ получения сорговой муки практически не оказал влияния на равновесную влажность муки из голозерного сорго, хранившейся при постоянной температуре, однако увеличение температуры хранения привело к снижению равновесной влажности у всех образцов сорговой муки;

- включение в технологическую схему подготовки сорго к измельчению операций шелушения-шлифования и гидротермической обработки зерна стабилизировало свойства сорговой муки при хранении: замедлился рост титруемой кислотности как по болтушке, так и по водно-спиртовой вытяжке;

- лучшая стойкость при хранении по исследованным показателям качества отмечена у муки из голозерного сорго, прошедшего ГТО с пропариванием, затем следует сорговая мука из зерна, прошедшего ГТО с интенсивным увлажнением под вакуумом, далее – сорговая мука из шелушенного, но не подвергнутого ГТО зерна; наименьшую стойкость при хранении имела цельнозерновая сорговая мука;

- упаковка в полиэтиленовые пакеты показала лучшую сохранность сорговой муки по сравнению с упаковкой в тканевые мешки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвиенко Е.В. Сорго как пищевая культура / Е.В. Матвиенко // International agricultural journal. 2020. № 3. С. 100–108.
2. Балакай С.Г. Сорго – культура больших возможностей / С.Г. Балакай // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. № 1(05). С. 83–90.
3. Шукис Е.Р. Потенциал возделывания сорговых культур в Алтайском крае / Е.Р. Шукис, А.Б. Володин, С.И. Капустин // Сельскохозяйственный журнал. 2018. С. 32–37.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 20 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 20 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*

4. Абрамова А.В. Перспективы и проблемы использования сорго для создания безглютеновой продукции / А.В. Абрамова, Т.В. Меледина, Р.А. Фёдорова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 42. С. 72–77.

5. Кононов В.М. Пищевое сорго – перспективная зерновая культура / В.М. Кононов, В.Ю. Селиванова // Научно-агрономический журнал. 2008. № 2 (83). С. 26–30.

6. Тертычная Т.И. Перспективы применения зерна сорго и продуктов его переработки для производства хлебобулочных изделий / Т.И. Тертычная, В.С. Агибалова, В.И. Манжесов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. № 2. С. 289–191.

7. Анисимова Л.В. Стойкость при хранении ячменной муки, полученной разными способами / Л.В. Анисимова, А.А. Выборнов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2014. № 2–3. С. 41–44.

8. Козьмина Н.П. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Н.П. Козьмина. Москва : Колос, 1976. 375 с.

### Информация об авторах

*Л. В. Анисимова – к.т.н., доцент, доцент кафедры ТХПЗ ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.*

*Е. С. Серебrenникова – аспирант кафедры ТХПЗ ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.*

*Е. О. Гергерт – магистрант кафедры ТХПЗ ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.*

*Д. Ю. Гузий – магистрант кафедры ТХПЗ ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.*

### Information about the authors

*L.V. Anisimova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of THPZ of Polzunov Altai State Technical University.*

*E.S. Serebrennikova - post-graduate student of the Department of THPZ of the Polzunov Altai State Technical University.*

*E.O. Gergert - Master's student of the Department of THPZ of the Polzunov Altai State Technical University.*

*D.Yu. Guziy - Master's student of the Department of THPZ of the Polzunov Altai State Technical University.*



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК664.665

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.016



## ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В ТЕХНОЛОГИИ АХЛОРИДНОГО ХЛЕБА

Светлана Сергеевна Кузьмина<sup>1</sup>, Яков Григорьевич Стецов<sup>2</sup>,  
Сергей Николаевич Цыганок<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>3</sup> Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Бийск, Россия

<sup>1</sup> svetlana.politeh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

<sup>2</sup> Stetsov-Y.G@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6608-1127>

<sup>3</sup> grey@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7832-3510>

**Аннотация.** В технологии хлебобулочных изделий соль является не только вкусовой добавкой, но и оказывает существенное влияние на биохимические и структурно-механические свойства теста. Исключение соли из рецептуры хлеба способствует снижению вязкости и эластичности теста, с одной стороны, и повышению бродильной активности микрофлоры теста, с другой стороны, что, в свою очередь, ухудшает качество хлеба. С целью нивелирования негативных последствий исключения соли из рецептуры ахлоридного хлеба применяли ультразвук. При проведении исследований осуществляли обработку ультразвуком воду, предназначенную для приготовления дрожжевой суспензии, и непосредственно дрожжевую суспензию.

Установлено, что с повышением продолжительности воздействия ультразвука происходит увеличение температуры как дрожжевой суспензии, так и воды. При обработке ультразвуком в течение 90 секунд температура как воды, так и дрожжевой суспензии, достигла 40 °С, что является критическим для роста и размножения дрожжевых клеток. Воздействие ультразвука в течение 30–60 секунд способствует биоактивации дрожжевой суспензии, в то время как ультразвуковая обработка воды, напротив, оказывает тормозящее, а в определенный период и негативное влияние на размножение дрожжевых клеток. Полученный ахлоридный хлеб, приготовленный с применением ультразвуковой обработки дрожжевой суспензии, обладает высокими показателями качества. Результирующим эффектом выступает значительное повышение пористости мякши хлеба, в технологии которого применяли ультразвук по сравнению с контролем.

**Ключевые слова:** ультразвук, дрожжи хлебопекарные, температура среды, ахлоридный хлеб, показатели качества.

**Для цитирования:** Кузьмина С. С., Стецов Я. Г., Цыганок С. Н. Применение ультразвука в технологии ахлоридного хлеба // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 106–110. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.016, EDN: <https://elibrary.ru/KBVITX>.

Original article

## USE OF ULTRASOUND IN ACHLORIDE BREAD TECHNOLOGY

Svetlana S. Kuzmina<sup>1</sup>, Yakov G. Stetsov<sup>2</sup>, Sergey N. Tsyganok<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>3</sup> Biysk Institute of Technology (branch) of the Polzunov Altai State Technical University, Biysk, Russia

<sup>1</sup> svetlana.politeh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

<sup>2</sup> Stetsov-Y.G@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6608-1127>

<sup>3</sup> grey@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7832-3510>

**Abstract.** In the technology of bakery products, salt is not only a flavor additive, but also has a significant effect on the biochemical and structural and mechanical properties of the dough. The exclusion of salt from the bread formulation helps to reduce the viscosity and elasticity of the dough, on the one hand, and increase the fermentation activity of the microflora of the dough, on the other hand, which in turn worsens the quality of bread.

© Кузьмина С. С., Стецов Я. Г., Цыганок С. Н., 2024



*Ultrasound was used to neutralize the negative effects of salt exclusion from the formulation of a chloride bread. During the research, ultrasound treatment was performed on water intended for the preparation of yeast suspension, and directly on yeast suspension.*

*It was found that with an increase in the duration of exposure to ultrasound, the temperature of both the yeast suspension and the water increases. When treated with ultrasound for 90 seconds, the temperature of both water and yeast suspension reached 40°C, which is critical for the growth and reproduction of yeast cells. Exposure to ultrasound for 30-60 seconds contributes to the bioactivation of the yeast suspension, while ultrasonic water treatment, on the contrary, has a retarding and, in a certain period, a negative effect on the production of yeast cells. The resulting chloride bread, prepared using ultrasonic treatment of yeast suspension, has high quality indicators. The resulting effect is a significant increase in the porosity of the bread crumb, in the technology of which ultrasound was used, compared with the control.*

**Keywords:** *ultrasound, baking yeast, ambient temperature, a chloride bread, quality indicators.*

**For citation:** Kuzmina, S.S., Stetsov, Y.G. & Tsyganok, S.N. (2024). Use of ultrasound in a chloride bread technology. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 106-110. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.016. EDN: <https://elibrary.ru/KBVITX>.

## ВВЕДЕНИЕ

Хлебобулочные изделия играют ведущую роль в питании практически всех социально-демографических слоев населения. На фоне широкого ассортимента хлебобулочных изделий отмечается недостаточное или полное отсутствие изделий, рекомендуемых для лечебно-профилактического питания. Преследуя цель укрепления здоровья и предупреждения возникновения алиментарных заболеваний, из повседневного питания человека исключаются компоненты пищи, негативно влияющие на биосинтез важных веществ [1].

В технологии хлебобулочных изделий соль является не только вкусовой добавкой, но и оказывает существенное влияние на биохимические и структурно-механические свойства теста. Исключение соли из рецептуры хлеба способствует снижению вязкости и эластичности теста, с одной стороны, и повышению бродильной активности микрофлоры теста, с другой стороны. В результате тестовые заготовки подовых изделий сильно расплываются на поду, а готовый хлеб имеет мякиш с крупной неравномерной пористостью и обладает бледно окрашенной коркой. Поиск технологического решения, позволяющего исключить пищевую соль из рецептуры изделия без потери его качества, является важным аспектом технологии ахлоридного хлеба [2].

В технологии ахлоридного хлеба с целью нивелирования негативных последствий исключения соли из рецептуры применяют разные технологические приемы, позволяющие сократить продолжительность брожения теста [3–6]:

- использование хлебопекарных улучшителей,
- применение подкисляющих добавок и сырьевых компонентов, таких как молочная сыворотка, сухая закваска;
- осуществление предварительной активации хлебопекарных дрожжей, позволяющей сократить технологический процесс;

- использование интенсивного замеса теста;

- введение в состав рецептуры изделий компонентов, позволяющих улучшить вкусоароматические характеристики изделий.

Компромиссное решение в поставленной задаче может заключаться в интенсификации процесса тестоприготовления, посредством применения ультразвука. Использование ультразвуковой обработки (уз-обработки) является не новым способом воздействия на дрожжевые клетки. Данный вид активации дрожжей периодически вызывает интерес ученых, результаты исследований которых доказывают целесообразность применения данной обработки в технологии хлеба [7–10]. Несмотря на это, данная тематика сохраняет свою актуальность.

Для изучения ультразвукового воздействия при приготовлении ахлоридного хлеба, в первую очередь, необходимо определиться с тем, на какой стадии будет максимально эффективно применение ультразвуковой обработки. В связи с этим, в представленной работе рассматривали влияние ультразвуковой обработки на воду, предназначенную для приготовления дрожжевой суспензии, и непосредственно на дрожжевую суспензию.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследований применяли аппарат ультразвуковой технологической серии «Волна» (модель УЗТА-0,4/22–ОМ) при интенсивности воздействия 16 Вт/см<sup>2</sup> (100 % излучение).

Облучению подвергали водопроводную воду и дрожжевую суспензию, приготовленную из 0,2 г дрожжей хлебопекарных прессованных вида *Saccharomyces cerevisiae*, 2 г сахара, 200 мл водопроводной воды. Использование сахара обусловлено необходимостью обеспечения питательной среды дрожжевым клеткам. Расчёты количества



дрожжевых клеток в суспензии проводили с помощью метода прямого подсчета с использованием камеры Горяева. Начальная температура воды и дрожжевой суспензии составила 24 °С.

Установление эффекта воздействия УЗ-обработки на качество ахлоридного хлеба осуществляли путем исследования органолептических и физико-химических показателей с использованием стандартных методик.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температура среды оказывает существенное влияние на процесс культивирования дрожжевых клеток. Оптимальной для размножения дрожжей считается температура 30 °С. Доказано, что предельным температурным барьером для проявления бродильной активности дрожжей является температура 40 °С [11]. Результаты влияния ультразвука на среду представлено в таблице 1.

С увеличением продолжительности ультразвуковой обработки как воды, так и дрожжевой суспензии было отмечено постепенное повышение температуры. При продолжительности воздействия в течение 90 секунд температура как обрабатываемой воды, так и дрожжевой суспензии достигла 40 °С, что,

несомненно, связано с локальным высокоинтенсивным нагревом обрабатываемой среды вследствие воздействия ультразвука.

Таблица 1 – Влияние ультразвука на температуру среды

Table 1 – Effect of ultrasound on ambient temperature

Экспозиция уз-обработки	Температура воды/дрожжевой суспензии, °С	Прирост температуры, °С
0 секунд (контроль)	24	0
30 секунд	29	+5
60 секунд	36	+12
<b>90 секунд</b>	<b>40</b>	<b>+16</b>

Достижение суспензией температуры 40 °С является критическим для роста и размножения дрожжевых клеток, что исключает дальнейшее увеличение продолжительности УЗ-обработки.

Исследование влияния ультразвуковой обработки воды / дрожжевой суспензии на динамику роста биомассы дрожжей проводили в течение 150 минут, что соответствует продолжительности брожения теста при безопасном способе приготовления. Результаты исследования представлены на рисунках 1–2.

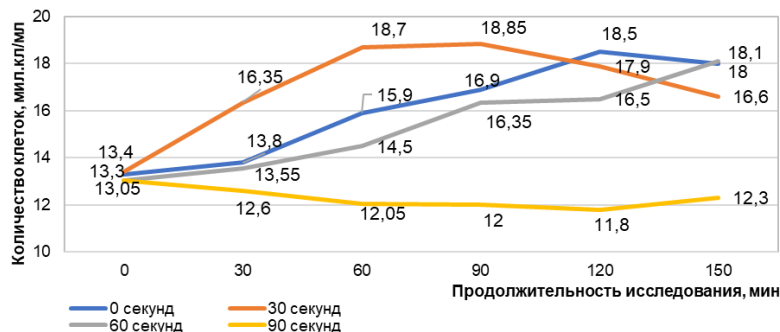


Рисунок 1 - Влияние УЗ-обработки **дрожжевой суспензии** на динамику роста биомассы дрожжей

Figure 1 – The effect of ultrasonic treatment of **yeast suspension** on the dynamics of yeast biomass growth

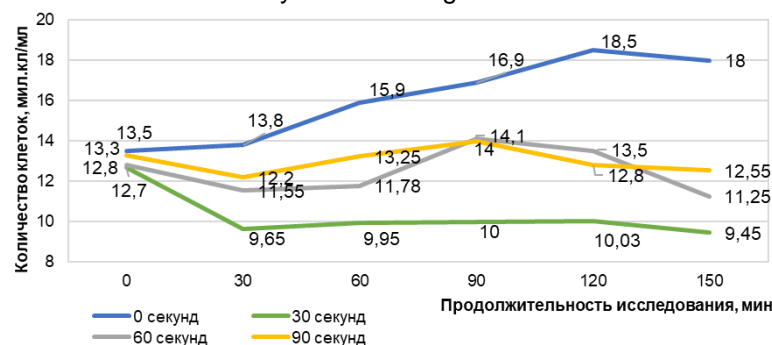


Рисунок 2 – Влияние УЗ-обработки **воды** на динамику роста биомассы дрожжей

Figure 2 – The effect of ultrasonic **water** treatment on the dynamics of yeast biomass growth

Из представленных графиков можно

сделать вывод о том, какую продолжитель-

ность роста биомассы имеют все представленные образцы. Так, у контрольного образца рост биомассы наблюдался в течение 120 минут исследования.

При обработке **дрожжевой суспензии** в течение 30 секунд наращивание биомассы происходило в течение 60 минут, с выходом на плато и через 90 минут исследования наступает фаза отмирания клеток.

Воздействие ультразвука на дрожжевую суспензию в течение 60 секунд оказало положительное влияние на динамику роста биомассы дрожжей, эффект от которого наблюдался на протяжении всего периода исследования.

Обработка дрожжевой суспензии в течение 90 секунд негативно повлияла на дрожжевые клетки, остановив их рост.

Обработка **воды** ультразвуком не способствовала активации процесса размножения дрожжей.

Приготовление ахлоридного хлеба из пшеничной муки высшего сорта осуществляли по традиционной рецептуре, из состава которой исключили соль пищевую. Для проведения экспериментальных исследований готовили следующие образцы хлеба:

- контроль – без использования ультразвука;

- образец 1 – обработка ультразвуком **дрожжевой суспензии** в течение 30 секунд;

- образец 2 – обработка ультразвуком **дрожжевой суспензии** в течение 60 секунд;

Продолжительность безопасного тестоприготовления **образца 1** и **образца 2** составила 90 минут, в то время, как приготовление теста для контроля – 120 минут.

Таблица 2 – Влияние ультразвука на качество ахлоридного хлеба

Table 2 – The effect of ultrasound on the quality of achloride bread

Наименование показателя	Контроль	Образцы хлеба	
		1	2
Влажность мякиша, %	41,6	41,8	42,0
Кислотность мякиша, град	2,4	2,6	2,6
Пористость мякиша, %	75	84	82
Удельный объем, см <sup>3</sup> /г	3,64	4,62	4,28
Формоустойчивость, Н/D	0,78	0,73	0,70

Все выпеченные образцы хлеба имели правильную форму, соответствующую хлебопекарной форме. Мякиш хлеба имел равномерный окрас. Эластичность мякиша всех образцов была хорошая, липкость отсутствовала.

Пористость у всех образцов хлеба была средняя, равномерная, тонкостенная. Хруст во всех образцах отсутствовал, как и комкуемость при разжевывании. Хлеб обладал вкусом и запахом, свойственными хлебу пшеничному без постороннего запаха и привкуса.

Влияние ультразвука на качество ахлоридного хлеба представлено в таблице 2.

Полученные результаты подтверждают сделанные ранее выводы, а именно: ультразвуковое воздействие на дрожжевую суспензию приводит к повышению качества хлеба. Резльтирующим эффектом выступает значительное повышение пористости мякиша хлеба, в технологии которого применяли ультразвук (**образец 1** и **образец 2**), по сравнению с контролем.

### ВЫВОДЫ

Резюмируя представленные результаты, можно заключить, что воздействие ультразвука в течение 30–60 секунд способствует биоактивации дрожжевой суспензии, в то время как ультразвуковая обработка воды, напротив, оказывает тормозящее, а в определенный период и негативное влияние на размножение дрожжей.

Полученный ахлоридный хлеб обладает высокими показателями качества, при этом использование ультразвука способствовало их повышению.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резниченко И.Ю., Акопян Г.С. Использование биоактивных пептидов для обеспечения качества и хранимоспособности хлеба // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 75–83. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.010. EDN: <https://elibrary.ru/YYMDDUE>.
2. Хлебные палочки повышенной пищевой ценности для ахлоридного питания / Е.И. Пономарева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48. № 1. С. 114–124. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-1-114-124.
3. Хохолова А.А., Лыбенко Е.С. Влияние соли с низким содержанием натрия на показатели качества батона нарезного // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 16–22. DOI: 10.24412/2311-6447-2022-4-16-22.
4. Садыгова М.К., Иватова О.Ю., Абушаева А.Р., Турсунбаева Ш.А. Разработка рецептуры булочки «Радость» для ахлоридного питания // Вестник ВСГУ-ТУ. 2023. № 4 (91). С. 14–24. DOI: 10.53980/24131997\_2023\_4\_14.
5. Сафина Д.Р., Халимов М.Н., Турсунов Ф.Р., Решетник О.А. Способы повышения бродильной активности хлебопекарных дрожжей // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2019. № 1. С. 94–119.
6. Кузнецова Т.А., Иванченко О.Б. Морфометрическое исследование клеток дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* как метод оценки их физиологического состояния // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Про-

цессы и аппараты пищевых производств». 2020. № 1. С. 39–46. DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-1-39-46.

7. Панкина И.А., Черникова Д.А. Исследование влияния ультразвуковой обработки водных суспензий на физиологическую активность хлебопекарных дрожжей // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2019. Т. 8, № 3(47). С. 152–157.

8. Карпенко Д.В. (2020). Определение рациональных параметров акустической обработки с целью активации пивных дрожжей // *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s290>.

9. Лукина О.В., Лукина Д.В. Анализ способов и технических средств, предназначенных для активации хлебопекарных дрожжей // Вестник Курганской ГСХА. 2013. № 4. С. 82–84.

10. Красникова Е.С., Красников А.В., Бабушкин В.А., Моргунова Н.Л. Влияние низкочастотной ультразвуковой кавитации на активизацию пекарских дрожжей // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2021. № 3. С. 108–114. DOI 10.24412/2311-6447-2021-3-108-114.

11. Пономарева О.И., Черныш В.Г., Борисов Е.В. Влияние условий культивирования на выход и качество хлебопекарных дрожжей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2011. № 2(12).

## REFERENCES

1. Reznichenko, I.Yu. & Akopyan, G.S. (2023). Use of bioactive peptides to ensure the quality and storage of bread. *Polzunovskiy vestnik*. (1). 75-83. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.010. EDN: <https://elibrary.ru/YYMDUE>.

2. Ponomareva, E.I., Krivosheev, A.Y., Lukina, S.I. [et al.]. (2018). Breadsticks with Enhanced Nutritional Value for Salt-free Nutrition. *Food Processing: Techniques and Technology*. Vol. 48. No. 1. pp. 114-124. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2018-1-114-124.

3. Klopov, A.A. & Lybenko, E.S. (2022) The effect of salt with a low sodium content on the quality indicators of a sliced loaf. *Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex - products of healthy nutrition*. № 4. С. 16-22. (In Russ.). DOI: 10.24412/2311-6447-2022-4-16-22.

4. Sadygova, M.K., Ivatova, O.Yu., Abushaeva, A.R. & Tursunbaeva, Sh.A. (2023). Recipe development of bun «RADOST» for a chloride nutrition. *ESSUTM Bulletin*. № 4 (91). С. 14-24. (In Russ.). DOI: 10.53980/24131997\_2023\_4\_14.

5. Safina, D.R., Halimov, M.N., Tursunov, F.R. & Reshetnik, O.A. (2019). Ways to improve a fermentation activity bakery yeast. *International journal of applied sciences and technology «INTEGRAL»*. № 1. С. 94-119. (In Russ.).

6. Kuznetsova, T.A. & Ivanchenko, O.B. (2020). Morphometric study of *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells as a method for evaluating their physiological state // *Scientific journal of the ITMO Research Institute. The*

*series «Processes and devices of food production»*. No. 1. С. 39-46. (In Russ.). DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-1-39-46.

7. Pankina, I.A. & Chernikova, D.A. (2019). Investigation of the effect of ultrasonic treatment of aqueous suspension on the physiological activity of baking yeast. *XXI century: results of the past and problems of the present plus*. Vol. 8. No. 3(47). pp. 152-157. (In Russ.).

8. Karpenko, D.V. (2020). Determination of Rational Parameters of Acoustic Processing in order to Activate Brewer's Yeast. *Health, Food & Biotechnology*. 2(1). (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s290>.

9. Lukina, O.V. & Lukina, D.V. (2013). Analysis of ways and technical means intended for activation of baking yeast. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. No. 4. С. 82-84. (In Russ.).

10. Krasnikova, E.S., Krasnikov, A.V., Babushkin, V.A. & Morgunova, N.L. (2021). The influence of low-frequency ultrasonic cavitation on the bakery yeast activation. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex-healthy food products*. No. 3. С. 108-114. (In Russ.). DOI 10.24412/2311-6447-2021-3-108-114.

11. Ponomareva, O.I., Chernysh, V.G. & Borisov, E.V. (2011). Influence of cultivation conditions on the yield and quality of baking yeast. *Scientific Journal of ITMO Research Institute. The series «Processes and devices of food production»*. No. 2 (12). (In Russ.).

## Информация об авторах

С. С. Кузьмина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Я. Г. Стецов – аспирант кафедры «Технология хранения и переработки зерна» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

С. Н. Цыганок – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации» БТИ (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

## Information about the authors

S.S. Kuzmina - Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

Y.G. Stetsov - graduate student of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

S.N. Tsyganok - Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Methods and Means of Measurement and Automation, Biysk Technological Institute of Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 22 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 637.144.5

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.017



## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ОПТИМУМ КОММЕРЧЕСКИХ МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩИХ ФЕРМЕНТОВ

Анастасия Викторовна Гришкова <sup>1</sup>, Юлия Геннадьевна Стурова <sup>2</sup>  
Александр Николаевич Белов <sup>3</sup>, Анатолий Дмитриевич Коваль <sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> Алтайский государственный медицинский университет, Барнаул, Россия

<sup>1, 3, 4</sup> ФГБНУ ФАНЦА, отдел СибНИИС, лаборатория биохимии молока и молочных продуктов, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> anastasiya-kriger@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1117-0489>

<sup>2</sup> y\_sturova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

<sup>3</sup> beloffan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4045-2493>

<sup>4</sup> anatokoval@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7832-7159>

**Аннотация.** Молокосвёртывающим ферментным препаратам отводится важная роль в производстве сыра. Первая важная функция МФП – это непосредственное участие в одной из важнейших технологических операций – свёртывании молока. Продолжительность свёртывания и структурно-механические свойства сырного сгустка – критические важные показатели, от которых зависят содержание влаги в сыре, активная кислотность сыра, динамика проникновения соли в сырную массу, выход сыра, структура, консистенция, рисунок и другие показатели, характеризующие качество сыра. Необходимо принимать во внимание, что производитель устанавливает молокосвёртывающую активность (МА) и рассчитывает дозировку фермента с использованием стандартизованного молочного субстрата. На индивидуальном сыродельном предприятии характеристики молочной смеси могут варьировать и не совпадать с его показателями. В результате расход вносимого МФП может отличаться от значений, рекомендуемых производителем коагулянта молока. Внесение завышенной дозы молокосвёртывающего фермента может негативно повлиять на выход и качество производимого сыра из-за избыточного протеолиза. В связи с этим оценка молокосвёртывающей активности имеет большое значение. Температурный оптимум – одна из общих биохимических характеристик МФ, которая позволяет оценить МА препарата на основных технологических этапах выработки сыра.

**Ключевые слова:** молокосвёртывающие ферменты, производство сыра, коагуляция молочной смеси, молокосвёртывающая активность, температурный оптимум.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ № 075-03-2024-105, номер темы FZMM-2024-0003, рег. № НИОКТР 124013000666-5).

**Для цитирования:** Гришкова А. В., Стурова Ю. Г., Белов А. Н., Коваль А. Д. Температурный оптимум коммерческих молокосвертывающих ферментов // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 111–115. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.017, EDN: <https://elibrary.ru/NCIZOI>.

Original article

## TEMPERATURE OPTIMUM OF COMMERCIAL MILK-CONVERTING ENZYMES

Anastasia V. Grishkova <sup>1</sup>, Yulia G. Sturova <sup>2</sup>, Alexander N. Belov <sup>3</sup>,  
Anatoly D. Koval <sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> Altai State Medical University, Barnaul, Russia

<sup>1,3,4</sup> FGBNU FANTSA, SibNIIS Department, Laboratory of Biochemistry of milk and dairy products, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> anastasiya-kriger@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1117-0489>

© Гришкова А. В., Стурова Ю. Г., Белов А. Н., Коваль А. Д., 2024

<sup>2</sup> y\_sturova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

<sup>3</sup> beloffan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4045-2493>

<sup>4</sup> anatokoval@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7832-7159>

**Abstract.** Milk-converting enzyme preparations play an important role in cheese production. The first important function of the MFP is direct participation in one of the most important technological operations - milk coagulation. The duration of coagulation and the structural and mechanical properties of the cheese clot are critically important indicators on which the moisture content in cheese, the active acidity of cheese, the dynamics of salt penetration into the cheese mass, cheese yield, structure, consistency, pattern and other indicators characterizing the quality of cheese depend. It should be taken into account that the manufacturer sets the milk-clotting activity (MA) and calculates the dosage of the enzyme using a standardized milk substrate. At an individual cheese-making enterprise, the characteristics of the milk mixture may vary and not coincide with its indicators. As a result, the consumption of the introduced MFP may differ from the values recommended by the manufacturer of the milk coagulant. The introduction of an excessive dose of a milk-converting enzyme can negatively affect the yield and quality of the cheese produced due to excessive proteolysis. In this regard, the assessment of milk-clotting activity is of great importance. The temperature optimum is one of their common biochemical characteristics of MF, which allows us to evaluate the MA of the drug at the main technological stages of cheese production.

**Keywords:** milk-converting enzymes, cheese production, coagulation of milk mixture, milk-converting activity, temperature optimum.

**Acknowledgements:** The work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No.075-03-2024-105, topic number FZMM-2024-0003, reg. R&D No. 124013000666-5).

**Forcitation:** Grishkova, A.V., Sturova, Yu.G., Belov, A.N. & Koval, A.D. (2024). Temperature optimum of commercial milk-converting enzymes. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 111-115. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.017. EDN: <https://elibrary.ru/NCIZOI>.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на российском рынке представлен значительный выбор МФП отечественных и зарубежных производителей. Современный рынок, несмотря на влияние, оказываемое санкционной политикой стран Евросоюза, представляет для выбора большой перечень продукции. Большинство видов сыров могут быть выработаны с использованием всего спектра молочных коагулянтов, представленных на рынке, однако различия в протеолитической специфике у разных коагулянтов приведут к получению некоторых различий в консистенции и вкусе сыров [1, 2, 3, 4]. Поэтому при выработке сыра для получения продукта высокого качества необходимо учитывать особенности биохимических свойств молокосвёртывающих препаратов [5, 6, 7].

В производстве сыра молокосвёртывающим ферментным препаратам отводится одна из ключевых ролей. Первая важная функция МФП – это непосредственное участие в одной из важнейших технологических операций – свёртывании молока. Продолжительность свёртывания и структурно-механические свойства сырного сгустка – критически важные показатели, от которых зависят содержание влаги в сыре, активная кислотность сыра, динамика проникновения соли в сырную массу, выход сыра, структура, консистенция, рисунок и другие показатели,

характеризующие качество сыра. В связи с этим оценка молокосвёртывающей активности (МА) имеет большое значение. На этикетке МФП всегда указан показатель МА, но необходимо принимать во внимание, что производитель устанавливает его и рассчитывает дозировку фермента с использованием стандартизованного молочного субстрата. На индивидуальном сыродельном предприятии характеристики молочной смеси могут варьировать и не совпадать с его показателями. В результате расход вносимого МФП может отличаться от значений, рекомендуемых производителем коагулянта молока. Внесение завышенной дозы молокосвёртывающего фермента может негативно повлиять на выход и качество производимого сыра из-за избыточного протеолиза [8, 9, 10].

Температурный оптимум (Т-оптимум) – одна из общих биохимических характеристик МФ, которая позволяет оценить молокосвёртывающую активность на основных технологических этапах выработки сыра, связанных с изменением температуры от момента свёртывания молока до стадий прессования и посолки [10, 11].

Целью данной работы является исследование температурного оптимума молокосвёртывающих ферментных препаратов различного происхождения отечественных и зарубежных производителей, применяемых на сыродельных предприятиях края.

**МЕТОДЫ**

Исследования проводились в лаборатории биохимических исследований ФГБНУ ФАНЦА, отдел СибНИИ сыроделия.

В качестве эталонного образца сравнения применяли Отраслевой контрольный образец сычужного фермента (ОКО СФ). Исследованы натуральные МФП: сычужный фермент (СФ), сычужно-говяжий (ВНИИМС СГ-50) и говяжий пепсин (ГП) производства ОАО «Московский завод сычужного фермента», Россия; сычужные препараты Calfrennet Clerici 96/4 и Calfrennet Clerici 70/30, сычужно-говяжий препарат Clerici 50/50 – «Caglificio Clerici SPA», Италия; микробиальный коагулянт Fromase 2200 TL, полученный из *Rhizomucormiehei*, – «DSM Food Specialties», Голландия; препараты рекомбинантного химозина: СНУ-MAX, производитель *Aspergillusnigervar. Avamori*, – «Chr. Hansen», Дания и Maxiren 1800, производитель *Kluyveromycesmarxianusv. lactis*, – «DSM Food Specialties».

Все использованные в работе реактивы имели квалификацию «чда» или «хч».

Оценку МА проводили согласно ОСТ 10288-2001 «Препараты ферментные молоко-свёртывающие».

Подготовка молоко-свёртывающих ферментных препаратов (МФП). Готовили 1%-ные растворы исследуемых МФП в дистиллированной воде. Перед исследованием рас-

творы ферментов прогревали при 35 °С в течение 15 минут на водяной бане и охлаждали до комнатной температуры.

Температурный оптимум молоко-свёртывающей активности:

Подготовка молока. В молоко коровье пастеризованное с м.д.жира 3,2 % вносили натрия азид (NaN<sub>3</sub>) до конечной концентрации 0,02 %, доводили рН до 6,5 и вносили 3 mM CaCl<sub>2</sub>. Субстрат прогревали в течение 10 мин на водяной бане в диапазоне температур от 30 °С до 60 °С с интервалом 5 °С.

Для определения Т-оптимума, МА исследуемых ферментов выражали в %. За 100 % принимается максимальное значение МА. Порогом Т-оптимума считали температуру, при которой исследуемый МФ сохранял не менее 80 % от максимальной МА.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ**

Исследование показало, что молоко-свёртывающая активность (МА) ферментных препаратов находилась в пределах от 103 тыс. до 293 тыс. у.е./г. При этом в ряде случаев фактическая МА не совпадала с декларируемой. В таблице 1 представлены данные по абсолютным значениям МА исследованных МФП при температуре 35 °С. В таблице 2 приведены результаты исследований по определению МА МФП в зависимости от температуры субстрата.

Таблица 1 – Молоко-свёртывающая активность ферментных препаратов при температуре 35 °С  
Table 1 – Milk-clotting activity of enzyme preparation sat a temperature of 35 °С

Наименование препарата	Фактическая МА, у.е./г	Декларируемая МА, у.е./г
Отраслевой контрольный образец сычужного фермента ОКО СФ	114 290	
Сычужный фермент СФ	151 160±1251	150000±5000
Сычужно-говяжий ВНИИМС СГ-50	110000±1261	100000±5000
Говяжий пепсин ГП	175 195±2876	150000±5000
Calf rennet Clerici 96/4	281387±1057	300000
Calf rennet Clerici 70/30	114 010±1003	100000
Сычужно-говяжий Clerici 50/50	103 322±1173	100000
Fromase 2200 TL полученный из <i>Rhizomucormiehei</i>	293568±1865	275000
СНУ-MAXпроизводитель <i>Aspergillusnigervar. avamori</i>	238853±3254	260000
Maxiren 1800 производитель <i>Kluyveromycesmarxianus v. lactis</i>	223463±1759	225000

Таблица 2 – Влияние температуры субстрата на МА МФП

Table 2 – Effect of substrate temperature on MAMFP

Исследуемый МФП	МА (%) при температуре, °С						
	30	35	40	45	50	55	60
ОКО СФ	38,6 ± 1,5	62,2 ± 1,8	74,1 ± 0,9	86,4 ± 3,2	92,1 ± 0,5	100	100
Сычужный фермент СФ	38,2 ± 2,1	57,3 ± 0,1	71,6 ± 1,7	85,9 ± 2,4	93,2 ± 3,6	100	80,9 ± 1,6
ВНИИМС СГ-50	31,4 ± 0,1	53,3 ± 2,7	64,0 ± 1,2	72,7 ± 1,7	84,2 ± 0,8	100	69,6 ± 1,5
Говяжий пепсин ГП	33,0 ± 1,2	51,4 ± 2,6	64,3 ± 2,3	78,3 ± 2,4	90,2 ± 1,1	100	80 ± 2,5
Calf rennet Clerici 96/4	32,3 ± 1,8	45,0 ± 0,9	57,1 ± 3,3	71,4 ± 1,4	86,9 ± 2,8	100	100
Calf rennet Clerici 70/30	35,5 ± 1,6	48,2 ± 1,4	62,1 ± 2,3	79,4 ± 2,8	89,1 ± 4,5	100	96,4 ± 1,5
Clerici 50/50	43,2 ± 2,8	57,4 ± 3,1	67,3 ± 1,8	83,1 ± 4,3	91,5 ± 2,7	100	77,1 ± 2,7
Maxiren 1800	33,3 ± 1,6	47,2 ± 2,2	60,3 ± 1,2	77,3 ± 1,3	89,5 ± 2,9	100	90,0 ± 4,5
СНУ-MAX	31,6 ± 0,9	47,2 ± 2,4	59,9 ± 2,3	78,3 ± 2,4	100	100	60,7 ± 3,7
Fromase 2200 TL	21,1 ± 1,8	32,2 ± 2,7	46,2 ± 2,1	66,7 ± 3,2	85,7 ± 4,7	100	85,7 ± 2,8



Из графиков зависимости МА коммерческих образцов натуральных МФП отечественного производства от температуры субстрата видно, что в диапазоне температур от 30 °С до 55 °С МА ферментов плавно нарастает, а при температуре субстрата 60 °С – быстро снижается, достигая порога Т-оптимума, за исключением эталонного образца ОКО СФ, МА которого в интервале от 55 °С до 60 °С выходит на плато (рис. 1).

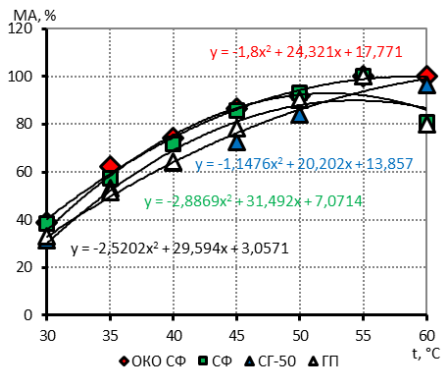


Рисунок 1 – Зависимость МА коммерческих образцов натуральных МФП отечественного производства от температуры молочного субстрата

Figure 1 – Dependence of the MA of commercial samples of natural MFPs domestic production depends on the temperature of the milk substrate

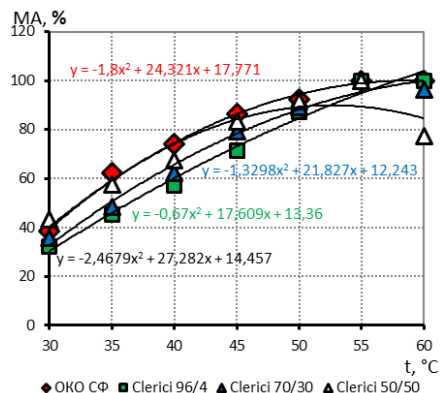


Рисунок 2 – Зависимость МА коммерческих образцов натуральных МФП зарубежного производства от температуры молочного субстрата

Figure 2 – Dependence of MA of commercial samples of natural MFPs of foreign production from the temperature of the milk substrate

Из рисунка 2 видно, что коммерческие образцы МФП животного происхождения производства «Cagificio Clerici SPA» (Италия) по мере увеличения температуры в диапазоне от 35 °С до 60 °С ранжируются следующим образом: Clerici 96/4 < Clerici 70/30 < Clerici 50/50. Чем выше доля пепсина в составе ферментного препарата, тем более высокая активность наблюдалась при повышении температуры. При достижении Т-оптимума препарат Clerici 96/4 МА выходит на плато в интервале от 55 °С до 60 °С, так же, как ОКО СФ. Эти препараты сопоставимы по доле

химозина в составе, которая, согласно нашим исследованиям, равна 91,5 % для ОКО СФ и 93,7 % для Clerici 96/4. Напротив, для препаратов Clerici 70/30 и Clerici 50/50 в интервале 55–60 °С наблюдали снижение МА. При этом препарат Clerici 50/50 оказался за порогом Т-оптимума, т.к. сохранил < 80 % (~77,1%) от максимальной МА.

Таким образом, для МФП животного происхождения наблюдалась закономерность: при температуре, лежащей за пределами оптимума, ферментные препараты, содержащие высокую долю пепсина в своём составе, теряют значительную часть своей специфической, а, следовательно, и протеолитической активности (ПА). Это является положительным фактором, учитывая, что высокую общую ПА следует рассматривать как негативное технологическое свойство. Учитывая низкую ПА препарата Clerici 96/4, сохранение им высокой активности при 60 °С не является негативным моментом. Учитывая, что при хорошей растворимости данного молокосвёртывающего фермента в сырное зерно переходит не более 6 % препарата [4], то его участие в процессе созревания сыра будет играть положительную роль, поскольку продукты умеренного гидролиза казеина будут являться субстратом для протеиназно-пептидазной системы заквасочной микрофлоры.

У препаратов рекомбинантного химозина CHY-MAX и Maxigen 1800 в диапазоне температур от 30 до 45 °С наблюдалась одинаковая молокосвёртывающая активность (рисунок 3).

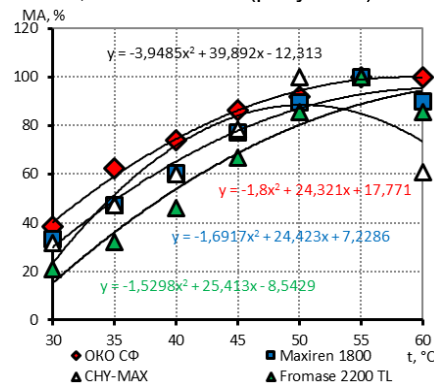


Рисунок 3 – Зависимость МА коммерческих образцов микробного коагулянта и препаратов рекомбинантного химозина от температуры молочного субстрата

Figure 3 – Dependence of MA of commercial samples of microbial coagulants and recombinant chimesin preparations on the temperature of the milk substrate

Но Т-оптимум CHY-MAX наступал при достижении 50 °С, и максимальная активность сохранялась в интервале 50–55 °С. При температуре 60 °С МФ оказался за порогом Т-оптимума, т.к. сохранил < 80 % (~60,7%) от максимальной МА. Т-оптимум для Maxigen 1800 наступил при достижении 55 °С, при температуре 60 °С МФ потерял только 10 % активности, что коррелирует с более высокой термостабильностью этого варианта химозина. В слу-



чае микробимального коагулянта Fromase 2200 TL наблюдали более низкую специфическую активность по сравнению с препаратами рекомбинантного химозина в диапазоне температур от 30 °С до 55 °С, что является положительным моментом, учитывая высокую абсолютную протеолитическую активность препарата. Т-оптимум для этого фермента наступил при достижении 55 °С, при 60 °С МФП потерял ~ 14,3 % от максимальной МА.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования показали, что МФ животного происхождения, содержащие высокую долю пепсина в своём составе, имеют меньший Т-оптимум по сравнению с препаратами сычужного фермента. Микробимальный коагулянт Fromase 2200 TL имел более низкую специфическую активность по сравнению с препаратами рекомбинантного химозина. Учитывая высокую общую протеолитическую активность указанных МФП, это является положительным фактором. Высокие значения Т-оптимума МФП следует рассматривать как негативное технологическое свойство, поскольку при производстве сыров с высокой температурой второго нагревания фермент будет проявлять высокую общую протеолитическую активность. Прежде всего, данное утверждение следует отнести к сырам Швейцарской группы, при выработке которых максимальная температура нагревания сырного зерна может достигать 58 °С.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективы применения комплексных МФП для производства созревающих сычужных сыров / Д.В. Абрамов, Д.С. Мягконосов, И.Н. Делицкая, В.А. Мордвинова, Т.Э. Муничева, Е.Г. Овчинникова // Сыроделие и маслоделие. 2019. № 1. С. 24–26.
2. Influence of differend milk-clotting enzymes on the process of prodacing semi hard cheeses / D.S. Myagkonosov, I.T. Smykov, D.V. Abramov, I.N. Delitskaya, E.G. Ovchinnikova // Food Systems. 2023. Т. 6. № 6. Р. 103–116. DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-103-116.
3. Rennets and Coagulants / P.L.H. McSweeney, J.P. McNamara // Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition), Academic Press. 2022. Р. 316–320. DOI: 10.1016/B978-0-12-818766-1.00268-3.
4. Скрининг и Исследование продуцентов молоко-свертывающих ферментов среди культур высших базидиальных грибов / Д.В. Минаков, Я.В. Уразова, А.А. Минакова // Ползуновский вестник. 2022. № 3. С. 173–180. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.024.
5. Рудометов А.П., Беленькая С.В., Щербаков Д.Н., Балабова Д.В., Кригер А.В., Ельчанинов В.В. Исследование ферментативной стабильности жидких препаратов рекомбинантного химозина коровы (*Bostaurus taurus*, L). Сыроделие и маслоделие. 2017. № 6. С. 40–43.

6. Беленькая С.В., Рудометов А.П., Щербаков Д.Н., Балабова Д.В., Кригер А.В., Белов А.Н., Коваль А.Д., Ельчанинов В.В. Некоторые биохимические свойства рекомбинантного химозина альпака (*Vicugna pacos* L.) // Прикладная биохимия и микробиология. 2018. Т. 54. № 6. С. 585–593.

7. Effect of ripening time on proteolysis, free amino acids, bioactive amines and texture profile of Gorgonzola-type cheese / M.M.M. Gisela, R.G.B. Costa, V.A.M. Teodoro, J.C.J. Paula, D. Sobral, C. Fernandes, M. Beatriz A. Gloria // LWT. 2018. Vol. 98. P. 583–590. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.09.026.

8. Мурунова Г.В., Свириденко Ю.Я. Принципы подбора молоко-свертывающего фермента для производства сыра // Сыроделие и маслоделие. 2006. № 5. С. 2–4.

9. Ardö Y. Enzymes in Cheese Ripening // Food Engineering Series. Springer, Cham. 2021. 363–395. DOI: 10.1007/978-3-030-55482-8\_15.

10. Влияние физико-химических факторов на специфическую активность протеаз, применяемых в биотехнологии сыров / Ю.Г. Стурова, А.В. Гришкова, В.В. Коньшин, А.Ю. Просеков // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14, № 3(50). С. 352–361. DOI: 10.21285/achb.935.

11. Формирование органолептических показателей сыров и управление процессом созревания / А.Н. Белов, А.В. Кригер, А.Д. Коваль, В.А. Миклишанский // Сыроделие и маслоделие. 2018. № 4. С. 10–12.

### Информация об авторах

А. В. Гришкова – к.т.н., доцент, ст. науч. сотр. АлтГТУ, ФГБНУ ФАНЦА, отдел СибНИИС, АлтГМУ.

Ю. Г. Стурова – к.т.н., доцент, ст. науч. сотр. АлтГТУ.

А. Н. Белов – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии молока и молочных продуктов, ФГБНУ ФАНЦА, отдел СибНИИС.

А. Д. Коваль – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии молока и молочных продуктов, ФГБНУ ФАНЦА, отдел СибНИИС.

### Information about the authors

A.V. Grishkova - Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher, Polzunov Altai State Technical University, FGBNUFANTSA, SibNIIS Department, Altai State Medical University.

Yu.G. Sturova - Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher, Polzunov Altai State Technical University.

A.N. Belov - Candidate of Technical Sciences, leading researcher at the Laboratory of Biochemistry of Milk and Dairy Products, FGBNUFANTSA, SibNIIS Department.

A.D. Koval - Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Biochemistry of Milk and Dairy Products, FGBNUFANTSA, SibNIIS Department.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12 марта 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 12 Mar 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 633.479.1

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.018



## ИССЛЕДОВАНИЕ КВАСОВ НЕОСВЕТЛЕННЫХ ИЗ РЕПЫ С РЯБИНОЙ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЧЕРНОПЛОДНОЙ

Ксения Николаевна Нициевская<sup>1</sup>, Светлана Владимировна Станкевич<sup>2</sup>,  
Елена Валерьевна Бородай<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия

<sup>1</sup> nitsievskayakn@sfsca.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7302-106X>

<sup>2</sup> stankevichsv@sfsca.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5157-2004>

<sup>3</sup> borodajelena@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4350-085X>

**Аннотация.** В настоящее время малоизученными являются исследования по разработке рецептур напитков, в частности квасов с применением овощного сырья. Цель исследования заключалась в экспериментальной оценке возможности обогащения квасов плодово-овощным сырьем регионального значения. В статье представлены данные по подбору оптимального соотношения репы, плодов рябины обыкновенной или черноплодной, влияние их концентрации в рецептуре напитка на динамику органолептических и физико-химических показателей. В данной работе авторами использовались теоретические (контент-анализ) и эмпирические методы научного исследования (экспериментальные исследования, измерения, сравнение, описание). Органолептическую оценку экспериментальных образцов проводили с применением балльной системы оценки по 25-балльной шкале. Для получения объективных данных по влиянию экстракта из рябины на качество готовых образцов была проведена оценка по физико-химическим показателям. Установлено, что для получения сбалансированного продукта по органолептическим и физико-химическим характеристикам оптимальным внесением в квас из репы плодов рябины обыкновенной является соотношение 1:1. Применение плодов рябины черноплодной в рецептуре кваса неоднозначно, поэтому требует дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** репа, рябина обыкновенная, арония черноплодная, квас, мацерация, органолептические исследования, флавоноиды, фенольные соединения, антоцианы.

**Для цитирования:** Нициевская К. Н., Станкевич С. В., Бородай Е. В. Исследование квасов неосветленных из репы с рябиной обыкновенной и черноплодной // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 116–125. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.018, EDN: <https://elibrary.ru/KZTGCA>.

Original article

## EXAMINATION OF UNFILTERED KVASSES MADE FROM TURNIP WITH RED AND BLACK-FRUITED ROWAN

Kseniya N. Nitsievskaya<sup>1</sup>, Svetlana V. Stankevich<sup>2</sup>, Elena V. Boroday<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Russia

<sup>1</sup> nitsievskayakn@sfsca.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7302-106X>

<sup>2</sup> stankevichsv@sfsca.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5157-2004>

<sup>3</sup> borodajelena@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4350-085X>

**Abstract.** At the moment, there are too few researches related to alcohol free drinks' recepies, including kvasses improved with vegetables. The current research was dedicated to evaluate an opportunity of using significant local vegetables as kvass' enhancers. There are optimal ratio of turnip and red or black-fruited rowan's fruits along with alteration dynamics of both organoleptic and physico-chemical properties of the product induced by ratio's adjustments presented in the article. In the current study authors coupled

© Нициевская К. Н., Станкевич С. В., Бородай Е. В., 2024

## ИССЛЕДОВАНИЕ КВАСОВ НЕОСВЕТЛЕННЫХ ИЗ РЕПЫ С РЯБИНОЙ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЧЕРНОПЛОДНОЙ

*theoretical (content analysis) and empirical (experiments, measurements, comparisons) re-search methods. Probes' organoleptic properties were graded in 25-point rating scale. In order to objectively evaluate an influence of rowan's extracts on probes' quality their physico-chemical properties were ap-praised. It was discovered, that balanced in organoleptic and physico-chemical properties product might be achieved with optimal kvass brewed from turnip and rowan ratio of 1:1. The effect of black-fruited rowan fruits' application in kvass recipe remains unclear and needs further examination.*

**Keywords:** *Brassica rapa L., Sórbus aucupária, Aronia melanocarpa, kvass, maceration, organoleptic research, flavonoids, phenols compounds, anthocyanins.*

**For citation:** Nitsievskaya, K.N., Stankevich, S.V. & Boroday, E.V. (2024). Examination of unfiltered kvasses made from turnip with red and black-fruited rowan. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 116-125. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.018. EDN: <https://elibrary.ru/KZTGCA>.

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время разработки новых технологий квасов, получаемых с добавлением настоев, сухих или жидких экстрактов растительного сырья, богатых компонентами антиоксидантно-адаптогенного действия, набирают особую популярность [1, 2]. Такие разработки считаются технологически и экономически обоснованными, поскольку доля квасов в структуре товарооборота всех прохладительных напитков стабильно составляет более 5 %, также наблюдается рост популярности кваса у российского населения. Отмеченное обусловлено прекрасными жаждоутоляющими свойствами этого напитка, потребление кваса способствует улучшению процессов обмена веществ, работы желудочно-кишечного тракта и сердечно-сосудистой системы.

Безалкогольные напитки не являются продуктами первой необходимости, но играют важную роль в обмене веществ человека. Потребление напитков должно не только восполнять потерю организмом влаги и солей, но и обогащать его жизненно необходимыми биологически активными веществами, в частности витаминами [3, 4].

Пищевая ценность кваса обусловлена наличием углеводов (глюкозы, фруктозы, мальтозы, сахарозы, декстринов), белков, в том числе синтезированных микроорганизмами, используемых при брожении, витаминов, ферментов и минеральных веществ. Полезные свойства кваса определяются также органическими кислотами: молочной, уксусной, янтарной и другими. Аромат кваса формируется за счет образующихся в процессе брожения эфиров, диацетила, кроме того, из сырья переходят ароматические и красящие вещества [5]. Благоприятное влияние непастеризованного кваса на процесс пищеварения определяется присутствием молочнокислых бактерий и дрожжей, которые способствуют обогащению хлебного кваса витаминами B1, B2, PP, D, молочной кислотой, диоксидом углерода [6, 7, 8, 9, 10].

Продукты брожения являются одними из самых популярных в мире напитков с очевидным положительным влиянием на общее состояние здоровья. Они являются традиционными во всем мире натуральными напитками, с низким содержанием калорий и без жира, с органическими кислотами и витаминами [11, 12].

Для получения квасов с новыми органолептическими свойствами, повышенной биологической и пищевой ценностью все чаще используются различные источники биологически активных веществ (БАВ), в частности пряно-ароматическое, плодово-ягодное, овощное сырье и продукты их переработки [13]. Менее изученным, но перспективным направлением является разработка и производство квасов брожения с применением продуктов переработки овощного сырья, в частности репы.

Репа (*Brassica rapa L.*) – однолетнее или двулетнее травянистое растение с белым или желтоватым корнеплодом, относится к семейству Крестоцветные (*Cruciferae*). Состав репы обуславливает его ценность как диетического продукта. В ней содержатся редкие микроэлементы и металлы: медь, железо, фосфор, марганец, сера, цинк, йод и многие другие. Углеводы в репе и остальных крестоцветных представлены сахарами, в основном – моносахаридами, среди которых преобладает глюкоза; полисахаридами (крахмалом, клетчаткой, пектиновыми веществами, пентозанами); а также глюкозинолатами. Известно, что из важнейших аминокислот в состав белков репы входит лизин – 0,43 г, метионин – 0,14 г и аргинин – 0,51 г на 1 кг сырого вещества. Этот корнеплод обладает ранозаживляющим, мочегонным, противовоспалительным, антисептическим и обезболивающим действиями [14, 15].

Другим перспективным направлением современных разработок считается придание квасам дополнительной функциональной направленности за счет введения аскорбиновой кислоты, полифенольных веществ и более специфичных по действию компонентов.

В качестве растительного сырья, выступающего в роли естественного источника природных веществ-антиоксидантов или веществ-адаптогенов, разработчики используют лимонник китайский, шиповник, бруснику, клюкву, рябину, элеутерококк колючий, актинидию коломикта, родиолу розовую, эхинацею пурпурную, володушку золотистую и многие другие виды плодово-ягодного и травянистого сырья [2].

Вещества, накапливаемые в растениях, действуют на организм мягче, чем синтетические препараты, при этом физиологическая активность их шире. Натуральное сырье растительного происхождения обогащает напитки не только легкоусвояемыми веществами, но и макро- и микроэлементами, флавоноидами, органическими кислотами, витаминами, антиоксидантами и т. д. [16].

Плоды дикорастущих растений являются высокоценным сырьем для пищевых производств, так как содержат множество биологически активных веществ (БАВ). Плоды рябины (*Sorbus aucuparia*) богаты витамином С (до 160 мг%) и каротином (до 56 мг%). Плоды содержат сахар (до 5 %), яблочную, лимонную, винную и янтарную кислоты (2,5 %), дубильные (0,5 %) и пектиновые (0,5 %) вещества, сорбит и сорбозу, аминокислоты, эфирные масла, соли калия, кальция, магния, натрия, а также каротиноиды (до 20 мг %), аскорбиновую кислоту (до 200 мг %), флавоноиды, тритерпеновые соединения, горькие вещества, сорбиновую кислоту [17].

Лечебные свойства рябины связаны главным образом с её способностью вызывать желчегонный, слабительный и диуретический эффекты, снижать уровень холестерина в крови, а также оказывать общеукрепляющее и тонизирующее действие на организм благодаря присутствию множества витаминов. В ряде исследований также отмечается кровоостанавливающее, противомикробное, противогрибковое, болеутоляющее, противовоспалительное и противоопухолевое действие (в разной степени выраженности) [18].

Особый интерес вызывает рябина черноплодная (*Aronia melanocarpa*), в плодах которой содержится богатейший комплекс различных БАВ. Использование сока черноплодной рябины для купаживания ферментированного напитка позволяет обогатить напиток простыми углеводами, аминокислотами и различными органическими кислотами (яблочной, лимонной). Также он повышает биологическую ценность продукта за счет содержания антоцианов, антиоксидантов, полифенолов, дубильных веществ, витаминов (А, С,

К, РР, группы В), макро- и микроэлементов (железо, селен, марганец, йод, калий, кальций, магний, кобальт). Кроме того, содержание органических кислот в черноплодной рябине значительно выше, чем в малине, мандаринах и красной смородине, а содержание Р-витаминных соединений больше, чем у всех плодово-ягодных культур [19].

В работе получали квас из репы ферментативным брожением с использованием дрожжевых культур «France Superstart» (Франция) (1 г/дал) с дальнейшим подбором оптимального соотношения с экстрактами из плодов рябины обыкновенной и черноплодной.

Цель исследования заключается в экспериментальной оценке возможности обогащения квасов плодово-овощным сырьем регионального значения.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в лаборатории качества безопасности отдела пищевых систем и биотехнологий Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий (СФНЦА РАН). Объекты исследования: образцы квасов из репы с добавлением экстрактов из плодов рябины обыкновенной или черноплодной (растворителем была выбрана очищенная вода (рН 7,0 ед.). Оборудование, используемое в исследованиях: весы аналитические марки Ohaus PA214 (Китай), рН-метр марки Нитрон (Россия), термометр Testo 905-T1 (Германия) с погрешностью измерений  $\pm 0,5$  °С, колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-2 (Россия), рефрактометр ИРФ-454БМ (Россия). Математическую обработку данных с использованием регрессионного анализа проводили с помощью программы MS Excel. Проверка адекватности уравнений регрессии проводилась с применением F-критерия Фишера. Значимость коэффициентов регрессии оценивали с использованием t-критерия Стьюдента. За контролируемые параметры взяты следующие показатели: активная кислотность (рН, ед.), окислительно-восстановительный потенциал (Еh, мВ), интенсивность цвета (I, ед.), расчет свободных антоцианов и антоцианово-таниновых комплексов в виде показателя dA (%), оттенок цвета (Т, ед.), содержание суммы антоцианов по цианидин-3,5-дигликозид (%), массовая доля флавоноидных и других фенольных соединений на абсолютно сухое вещество (мг/100 г), содержание дубильных веществ в пересчете на галловую кислоту (%), количественное содержание рутина (%), определение водорастворимых антиоксидантов (мг/г), органолептические

## ИССЛЕДОВАНИЕ КВАСОВ НЕОСВЕТЛЕННЫХ ИЗ РЕПЫ С РЯБИНОЙ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЧЕРНОПЛОДНОЙ

ские характеристики. Определение органолептических испытаний проводили по ГОСТ 6687.5-86, определение сухих веществ – согласно ГОСТ 6687.2-90, массовую долю флавоноидных и других фенольных соединений – по ГОСТ 28887-2019.

Рецептура кваса из плодово-овощного сырья включала следующее соотношение ингредиентов:

Образец № 0 – квас из репы, считается в исследованиях контрольным образцом.

Образец №1 – аналогично образцу № 0, с добавлением экстракта из плодов рябины обыкновенной в соотношении 1:1 относительно общего объема сусла.

Образец № 2 – аналогично образцу № 0, с добавлением экстракта из плодов рябины обыкновенной в соотношении 1:2 относительно общего объема сусла.

Образец № 3 – аналогично образцу № 0, с добавлением экстракта из плодов рябины обыкновенной в соотношении 1:3 относительно общего объема сусла.

Образец № 4 – аналогично образцу № 0, с добавлением экстракта из плодов рябины черноплодной в соотношении 1:1 относительно общего объема сусла.

Образец № 5 – аналогично образцу № 0, с добавлением экстракта из плодов рябины черноплодной в соотношении 1:2 относительно общего объема сусла.

Исследование активной кислотности (рН, ед.) и окислительно-восстановительного потенциала Е (mВ) проводили с применением рН-метр марки Нитрон. Результаты параллельных определений вычисляли до второго десятичного знака, допустимые расхождения между опытами не должны превышать 0,2 рН.

Глубину экстракции исследовали с использованием оптических методов: измерением оптической плотности (D, ед.), коэффициента пропускания (Т, %). Исследования получены с использованием колориметра фотоэлектрического концентрационного КФК-2 (ЗОМЗ, Россия). В работе использовали светофильтры синий (λ = 440 нм), зеленый (λ = 540 нм) и красный (λ = 670 нм). В качестве раствора сравнения использовали очищенную воду. Исследование коэффициента пропускания (Т %) позволяет судить о прозрачности образцов, оптической плотности – о переходе фенольных соединений различной природы.

Интенсивность цвета (I, ед.) с учетом мономерных и полимерных фенольных соединений выражалась согласно формуле (1) и с учетом всех пигментов (2) [20]:

$$I_1 = D_{440} + D_{540}, \quad (1)$$

$$I_2 = D_{440} + D_{540} + D_{640}, \quad (2)$$

где D – оптическая плотность спектра поглощения, отн. ед.,

Расчет свободных антоцианов и антоциано-таниновых комплексов в виде показателя dA (%) по формуле (3) [20]:

$$dA(\%) = \left(1 + \frac{D_{440} + D_{640}}{2 \cdot D_{540}}\right) * 100. \quad (3)$$

Оттенок цвета (Т, ед.), выражался согласно формулы (4) [20]:

$$T = D_{440} / D_{540}, \quad (4)$$

где D – оптическая плотность спектра поглощения, отн. ед.,

Концентрацию антоциановых пигментов (X, %) определяли спектрофотометрически в 1%-ном соляно-кислом водном экстракте [21, 22]. Содержание суммы антоцианов рассчитывали по цианидин-3,5-дигликозиду, расчеты по формуле:

$$X, \text{ мг} = \frac{(D_{490} - \frac{1}{3} D_{670}) * V * 100}{E^{1\%} * A * (100 - B)}, \quad (5)$$

где X – концентрация суммы антоцианов, %;

$D_{490}$  – оптическая плотность раствора при λ= 490 нм;

$D_{670}$  – оптическая плотность раствора при λ= 670 нм;

V – объем экстракта, мл;

E – удельный показатель поглощения цианидин-3,5-дигликозид при λ= 490 нм в 1%-ном растворе соляной кислоты, равно 453;

A – масса навески.

Массовую долю флавоноидных и других фенольных соединений на абсолютно сухое вещество, мг/100 г абсолютно сухой массы (а.с.м.), вычисляли до первого десятичного знака по формуле:

$$X = \frac{D * 24}{m * 8,37} * \frac{100}{(100 - W)}, \quad (6)$$

где D – оптическая плотность испытуемого раствора; 24 – объем разведения, см<sup>3</sup>; m – масса навески, г; 8,37 – коэффициент пропорциональности оптической плотности раствора и концентрации флавоноидных и других фенольных соединений для фотоэлектрocolориметра при длине волны 400 нм; W – массовая доля влаги, %

Границы абсолютной погрешности результатов измерений массовой доли флавоноидных и других фенольных соединений – ±0,12\*X, % при (P = 0,95).

*Содержание дубильных веществ в пересчете на галловую кислоту, %*

Определение оптической плотности растворов проводили на спектрофотометре согласно методике [23, 24]. Расчеты проводили по формуле:

$$X = \frac{D * 250 * 50 * 100}{m_{\text{нав}} * V_a * 508 * (100 - W)}, \quad (7)$$

где X – содержание общего количества таннидов, пересчитанного по галловой кислоте, %; D – значение оптической плотности раствора;  $m_{\text{нав}}$  – точное значение массы сырья в навеске (г);  $V_a$  – объем пробы (мл); 250 – количество общего объема раствора (мл); 50 – объем раствора № 1 (мл); 508 – значение плотности оптической 1%-го раствора кислоты галловой 1 мг/мл (значение удельного показателя поглощения галловой кислоты); W – значение влажности сырья (%).

Для количественного измерения рутина применяли перманганатометрический метод, объемный метод анализа [25]. Массовую долю рутина (витамина Р), % находили по формуле (8):

$$w = \frac{3,2 * V_{\text{р-ра}} * V_k}{1000 * m * V_{\text{п}}} * 100\%, \quad (8)$$

где 3,2 – масса рутина в мг, окисляемого 1 мл 0,05 н. раствора  $\text{KMnO}_4$ ;  $V_{\text{р-ра}}$  – объем раствора  $\text{KMnO}_4$ , израсходованного на титрование;  $V_k$  – объем колбы (50 мл);  $V_{\text{п}}$  – объем экстракта, взятый для титрования (10 мл); m – масса навески, г.

При определении содержания водорастворимых антиоксидантов за основу взят метод Рогожина, который основан на способ-

ности хлорного железа ( $\text{Fe}^{3+}$ ) окислять антиоксиданты. При этом хлорное железо ( $\text{Fe}^{3+}$ ) восстанавливается до хлористого железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ), количество которого определяется по интенсивности окраски при добавлении о-фенантролина [25].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использование плодово-овощного сырья для производства кваса способствует реализации задач рационального использования сырья и расширению ассортимента квасных напитков.

Авторами исследована возможность использования в рецептуре плодово-овощного кваса из репы (лат. *Brassica rapa*) экстракта из плодов рябины обыкновенной (лат. *Sorbus aucuparia*) и черноплодной (лат. *Aronia melanocarpa*), тем самым предлагается повышение пищевой ценности и расширение ассортимента напитков.

Органолептическую оценку экспериментальных образцов проводили с применением балльной системы оценки. Опытные образцы напитков дегустировали и оценивали по 25-балльной шкале независимые дегустаторы. При оценке внешнего вида и цвета (от 1 до 7), вкуса и аромата (от 6 до 12), насыщенности  $\text{CO}_2$  (от 2 до 6) [26]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Органолептическая характеристика образцов квасов неосветленных  
Table 1 – Organoleptic characteristics of samples of unlit kvass

Образцы					
№ 0	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
<i>Внешний вид и цвет</i>					
Непрозрачная пенящаяся жидкость с небольшим осадком, продукт характеризуется опалесценцией					
цвет от прозрачного до серо-белого	цвет от слабо-розового до бледно-красного	цвет от розового до красного		цвет насыщенный красный с сиреневым оттенком	
3,0±0,2	7,0±0,3	7,0±0,1	7,0±0,2	8,0±0,3	8,0±0,3
<i>Вкус и аромат</i>					
вкус кисловатый, терпкий, букет флейвора с нотой репы	вкус с нотой кислоты, слабый рябиновый нюанс в букете	вкус терпкий с рябиновой нотой в флейворе	вкус терпкий, невыраженный, характерный рябиновый аромат	вкус терпкий, сладковатый, аромат с нотами репы	вкус вяжущий, аромат невыраженный
7,0±0,3	12,0±0,2	11,0±0,1	9,0±0,2	8,0±0,3	6,0±0,2
<i>Насыщенность <math>\text{CO}_2</math></i>					
2,0±0,2	6,0±0,1	5,0±0,1	5,0±0,1	4,5±0,1	4,5±0,1

Органолептическая оценка напитков показала, что наибольшее количество баллов получил образец № 1 (25 баллов) и № 2 (23 балла). По результатам исследований органолептических показателей установлено, что в образце кваса из репы при внесении экстракта из рябины обыкновенной в соотно-

шении 1:1 и 1:2 изменений не наблюдалось по показателям «внешний вид», «цвет». При соотношении 1:3 появился выраженный терпкий рябиновый вкус и аромат в букете. Образцы с использованием рябины черноплодной получили более низкие баллы при оценке показателя «вкус и аромат», «насыщенность

## ИССЛЕДОВАНИЕ КВАСОВ НЕОСВЕТЛЕННЫХ ИЗ РЕПЫ С РЯБИНОЙ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЧЕРНОПЛОДНОЙ

СО<sub>2</sub>». При оценке кваса из репы (образец № 0) набрал наименьшее количество баллов – 12. Для получения объективных данных по влиянию экстрактов рябины на

качество готовых образцов была проведена оценка и по физико-химическим показателям (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание антоцианов в образцах квасов неосветленных, мг

Table 2 – The content of anthocyanins in samples of unlit kvass, mg

Наименование показателя	Образцы					
	№ 0	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Цветовые характеристики						
Содержание антоцианов, мг	42,15	42,68	37,68	37,68	121,62	167,06
расчет dA%	19,73	20,11	20,50	20,46	19,53	18,38
$I_1$ , ед.	0,30	0,27	0,22	0,22	0,33	0,33
$I_2$ , ед.	0,44	0,40	0,31	0,30	0,47	0,43
T, ед.	0,10	0,11	0,12	0,12	0,10	0,10
$D_{440}$ (%)	34,39	35,59	38,71	39,60	35,48	38,55
$D_{540}$ (%)	33,94	33,08	32,26	32,34	34,41	37,38
$D_{670}$ (%)	31,67	31,33	29,03	28,05	30,11	24,07

Анализ абсорбционных оптических спектров регистрировали на длине волны  $\lambda = 440, 540$  и  $670$  нм. Полученные спек-

трофотометрические данные указывали на наличие веществ фенольных веществ различной природы.

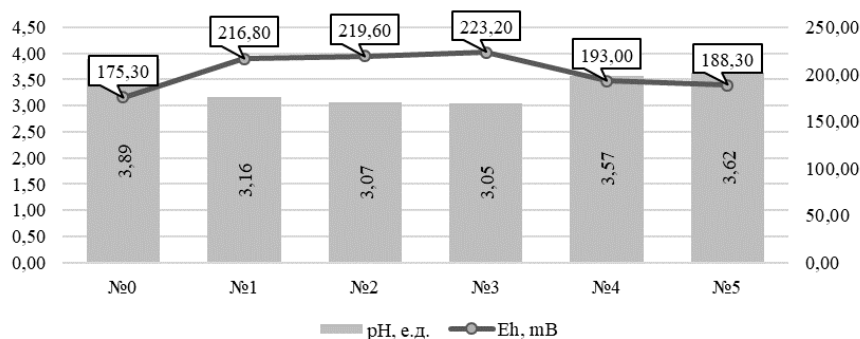


Рисунок 1 – Исследование активной кислотности (pH, ед.), окислительно-восстановительный потенциал (Eh, мВ)

Figure 1 – Study of active acidity (pH, ed.), redox potential (Eh, mV)

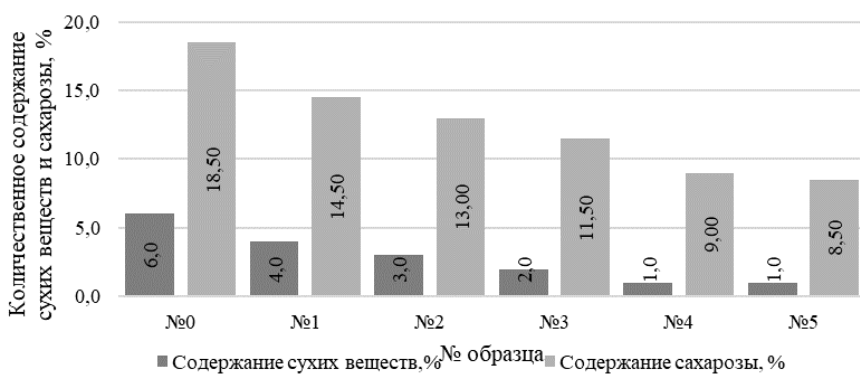


Рисунок 2 – Исследование содержания сухих веществ и сахарозы рефрактометрически, %

Figure 2 – The study of the content of solids and sucrose by refractometric, %



Рисунок 1 иллюстрирует снижение активной кислотности в кислую сторону. Так, в сравнении с контролем снижение по образцу № 1 – на 0,73 ед., № 2 – на 0,82 ед., № 3 – на 0,84 ед., № 4 – на 0,32 ед., № 5 – на 0,27 ед.

С увеличением внесения плодовых экстрактов наблюдается снижение содержания сухих веществ и сахара (рис. 2).

При анализе количественных характеристик установлена зависимость от внесения экстракта из плодов рябины обыкновенной и черноплодной при получении кваса.

Уравнение линейной регрессии зависимости содержания сухих веществ (%) имело вид:

$$y = -1,00x + 6,33 \text{ при } R = 0,92 . \quad (9)$$

Уравнение линейной регрессии зависимости содержания сахарозы (%) имело вид:

$$y = -1,943x + 19,30 \text{ при } R = 0,95 . \quad (10)$$

Содержание фенольных соединений находилось на максимальном уровне в образце кваса из репы, продукт характеризовался опалесценцией (рис. 3). По мере разбавления с плодами рябины обыкновенной или черноплодной отмечено снижение описываемого параметра. После обработки данных с применением линейной регрессии содержания фенольных соединений и флавоноидов (мг/100 г на абсолютно сухую массу):

$$y = -15,40x + 109,25 \text{ при } R=0,87 . \quad (11)$$

Наиболее ярко выражен данный факт в образцах № 4 и № 5 с рябиной черноплодной, в образце № 4 снижение было приблизительно в 2,6 раза, в образце № 5 – приблизительно в 3,8 раза.

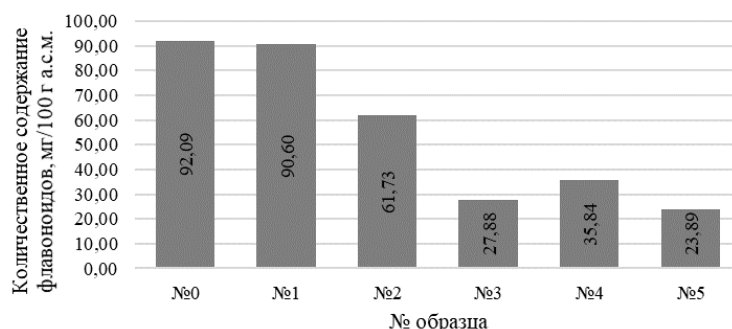


Рисунок 3 – Количественное содержание фенольных соединений и флавоноидов, мг/100 (на абсолютно сухую массу).

Figure 3 – Quantitative content of phenolic compounds and flavonoids, mg/100 (on absolutely dry mass)

Снижение флавоноидов в образцах с внесением рябины обыкновенной имело динамическое снижение в образце № 1 приблизительно на 1,50 мг/100 г на абсолютно сухую массу, № 2 – приблизительно на 30,36 мг, № 3 – приблизительно на 64,18 мг.

В других научных работах авторами установлено снижение фенольных соединений в процессе спиртового брожения [27].

Используемый нами метод определения флавоноидов основан на их экстрагировании ацетоном, возможно, в процессе продолжающегося брожения в продукте флавоноиды переходят в другие виды фенольных соединений, что подтверждается увеличением полифенольных соединений на примере анализа дубильных веществ (рис. 4).

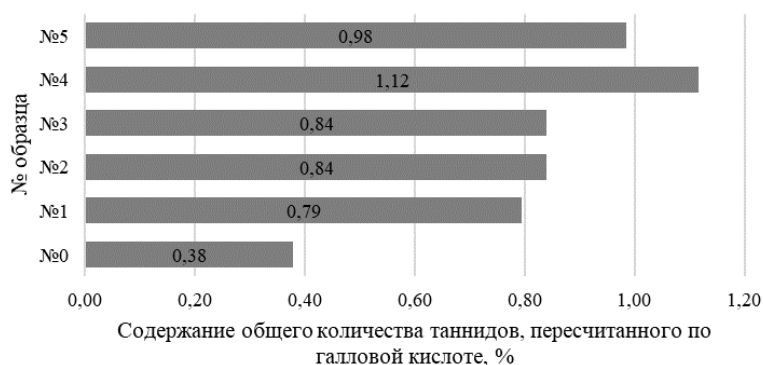


Рисунок 4 – Содержание дубильных веществ в пересчете на галловую кислоту, %

Figure 4 – Tannin content in terms of gallic acid, %

## ИССЛЕДОВАНИЕ КВАСОВ НЕОСВЕТЛЕННЫХ ИЗ РЕПЫ С РЯБИНОЙ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЧЕРНОПЛОДНОЙ

Увеличение дубильных веществ в сравнении с контрольным образцом при добавлении экстракта из плодов рябины обыкновенной был установлен на уровне  $0,84 \pm 0,5 \%$ , с применением экстракта из плодов рябины черноплодной приблизительно  $1,07 \pm 0,7 \%$

Уравнение линейной регрессии зависимости содержания дубильных веществ в пересчете на галловую кислоту (%) имело вид:

$$y = 0,11x + 0,42 \text{ при } R=0,73 . \quad (12)$$

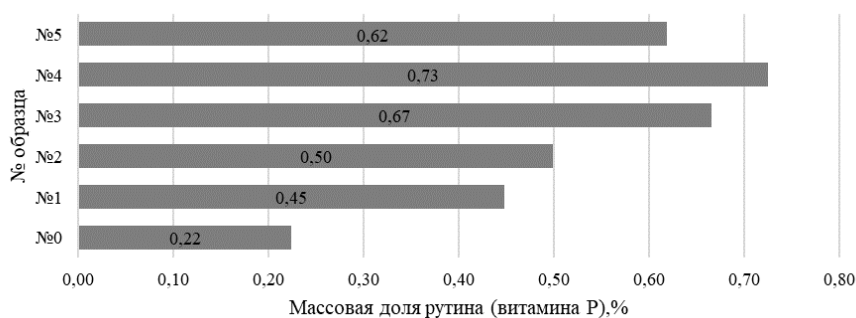


Рисунок 5 – Количественное содержание рутина, % (на абсолютно сухую массу)

Figure 5 – Quantitative content of rutin, % (on absolutely dry mass)

Количественное содержание рутина представлено на рисунке 5. Уравнение линейной регрессии зависимости содержания рутина (% на абсолютно сухую массу) имело вид:

$$y = 0,08x + 0,23 \text{ при } R=0,76 . \quad (13)$$

Оценка антиоксидантной активности (АОА) продуктов была проведена с использованием индикаторной системы на основе фенантролиновых комплексов железа, характеризующаяся высоким редокс-потенциалом ( $E^0 = 1,1 \text{ В}$ ). Методика определения АОА, основанная на взаимодействии антиоксидантов, содержащихся в пробе с индикаторной системой Fe (III)/Fe(II) –

о-фенантролин. Реакция с системой, в которую вводили  $0,12 \text{ ммоль/дм}^3 \text{ Fe (III)}$  и  $0,20 \text{ ммоль/дм}^3 \text{ о-фенантролина}$ , выдерживали 10 мин и измеряли оптическую плотность при длине волны  $\lambda = 490 \text{ нм}$ . Далее определяли антиоксидантную активность по градуировочному графику относительно аскорбиновой кислоты в диапазоне  $0,5\text{--}10 \text{ мкмоль/л}$  (рис. 6). Преимущество данного метода заключается в определении антиоксидантов, не исключая присутствия слабых восстановителей, при этом о-фенантролин способен к взаимодействию с восстановленной формой Fe (III) в диапазоне pH от 2 до 9.

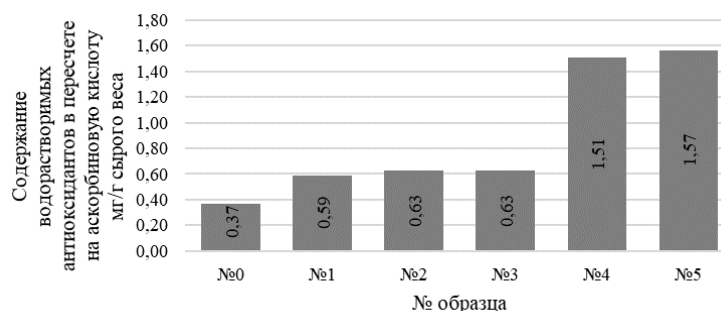


Рисунок 6 – Сравнительный анализ количественного содержания водорастворимых антиоксидантов в пересчете на аскорбиновую кислоту мг/г сырого веса

Figure 6 – Comparative analysis of the quantitative content of water-soluble antioxidants in terms of ascorbic acid mg/g of crude weight

Уравнение линейной регрессии зависимости водорастворимых антиоксидантов (мг/г сырого веса) имело вид:

$$y = 0,25x + 0,007 \text{ при } R=0,82 . \quad (14)$$

Антиоксидантные свойства состоят из суммарного действия восстановителей различной природы: поли- и монофенольных соединений, витаминов, полисахаридов, органических кислот [28].

### ВЫВОДЫ

Установлено, что для получения сбалансиро-

ванного продукта по органолептическим и физико-химическим характеристикам оптимальным внесением в квас из репы плодов рябины обыкновенной является соотношение 1:1. Применение плодов рябины черноплодной неоднозначно, с одной стороны, это увеличение фенольных соединений, с другой стороны, снижение флейвора, поэтому рецептуры с использованием рябины черноплодной требуют дальнейших исследований.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Shao Z., Zhong J., Fang Y. & Ma Y. (2022). Effect of Kvass on Improving Functional Dyspepsia in Rats. *Hindawi. Computational and Mathematical Methods in Medicine*, Article ID 5169892, 7 pages. DOI: 10.1155/2022/5169892.
2. Отрадных А.И., Мороженко Ю.В., Егорова Е.Ю. Использование регионального плодово-ягодного сырья для обогащения квасов брожения // Ползуновский вестник. 2018. № 2. С. 32–36. DOI: 10.25712/t2072-8921.2018.02.007.
3. Dulka O., Prybylskiy V., Oliinyk S., Kuts A. & Vitriak O. (2019). Using of clinoptilolite, activated charcoal and rock crystal in water purification technology to enhance the biological value of bread kvass. *Ukrainian Food Journal*, 8(2), 307–316.
4. Kolobaeva A.A., Kotik O.A., Sorokina I.A. & Ponomareva T.V. (2020). Expanding the assortment of fermented beverages at small enterprises. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 422(1):012083. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012083.
5. Lidums I., Karkliņa D., Sabovics M. & Kirse A. (2015). Evaluation of aroma volatiles in naturally fermented kvass and kvass extract. *Research for rural developmen.* 1. 143–149.
6. К вопросу о функциональных напитках / Помозова В.А. [и др.] // Пиво и напитки. 2012. № 6. С. 10–11.
7. Basinskiene L., Juodeikiene G., Vidmantiene D., Tenkanen M., Makaravicius T. & Bartkiene E. (2016). Non-Alcoholic Beverages from Fermented Cereals with Increased Oligosaccharide Content. *Food Technol. Biotechnol.*, 54(1), 36–44.
8. Бибик И.В., Лоскутова Е.В. Научное обоснование количества внесения дигидрокверцетина при разработке технологии кваса «Виноградный» // Техника и технология пищевых производств. 2014. № 1. С. 5–10.
9. Новые квасы с использованием сиропов из дальневосточных дикоросов / Палагина М.В. [и др.] // Вестник ТГЭУ. 2011. № 4. С. 65–68.
10. Оганесянц Л.А., Кобелев К.В., Бойков А.В. Высокоэффективная технология безалкогольных квасов // Пищевая промышленность. 2013. № 9. С. 28–29.
11. Позднякова В.Ф., Сенченко М.А. Производство кваса с использованием заменителей сахара из растительного сырья, выращенного в условиях Ярославской области // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2019. Т. 7. № 4. С. 55–63. DOI: 10.14529/food190406.
12. Палагина М.В., Исаенко Е.А., Набокова А.А. Влияние продуктов переработки дикоросов на качественные показатели кваса // Пиво и напитки. 2011. № 1. С. 40–41.
13. Amarowicz R., Janiak M., Zannini E. & Arendt E.K. (2019). Antioxidant potential of kvasses. *Bulgarian Chemical Communications*, 51, Special Issue A, 239–244.
14. Белякова Т.Н., Забодалова Л.А., Шевченко М.Ю. Использование репы (*Brassica rapa L.*) при производстве ферментированного напитка на молочной основе с онкопротекторными свойствами // Вестник бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2018. № 3 (52). С. 111–119.
15. Наймушева Л.В., Зыкова И.Д., Саторник А.Д. Перспективность репы (*Brassicarapa L.*) в качестве источника ценных биологически активных веществ // Вестник КрасГАУ. 2016. № 6. С. 120–125.
16. Колесниченко М.Н., Каменская Е.П. Перспективы использования плодов жимолости в производстве хлебного кваса // Ползуновский вестник. № 1. С. 13–20. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.003.
17. Блинова К.Ф., Яковлева Г.П. (1990). Ботанико-фармакогностический словарь : справ. пособие. М. : Высш. шк. С. 223–224.
18. Полезные свойства рябины. DOI:10.59316/.vi14.88 Интернет-портал. URL: <https://edaplus.info/produce/rowan.html?ysclid=lqeks4uw6h112296340> (Дата обращения: 21.12.2023).

19. Шевцова Т.В., Каменская Е.П. Изучение стабильности ферментированного напитка на основе *Oryzomyces indicī* и сока черноплодной рябины технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности // Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 90-летию юбилею академика Саковича Г.В. Бийск. АлтГТУ. 2021. С. 398–402.
20. Аникина Н.С., Червяк С.Н., Гниломедова Н.В. Методы оценки цвета вин. Обзор // Аналитика и контроль. 2019. Т. 23. № 2. С. 158–167. DOI: 10.15826/analitika.2019.23.2.003.
21. Содержание антоциановых и каротиноидных пигментов в лекарственных растениях. Маслеников П.В. [и др.] // Электронный журнал «Вестник МГОУ». [www.evestnik-mgou.ru](http://www.evestnik-mgou.ru). 2013. № 1.
22. Коренман Я.И. (2002). Практикум по аналитической химии. Анализ пищевых продуктов : учеб. пособие. Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж. 408 с.
23. Кукушкина Т.А., Фомина Т.И. Содержание биологически активных веществ в листьях некоторых видов рода *Campanula L. (Campanulaceae)* // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 38. С. 122–133.
24. Федосеева Л.М. Изучение дубильных веществ подземных и надземных вегетативных органов бадана толстолистного (*Bergenia crassifolia (L.) Fritsch*), произрастающего на Алтае // Химия растительного сырья. 2005. № 3. С. 45–50.
25. Чулахина Г.Н., Маслеников П.В., Скрыпник Л.Н. Природные антиоксиданты (экологический аспект) : монография. Калининград, 2011. 112 с.
26. Валеева И.И., Гусев А.Н. Разработка рецептур и оценка качества кваса функционального назначения с применением нетрадиционного сырья // Вестник БГАУ. 2018. № 2. С. 21–24. DOI: 10.31563/1684-7628-2018-46-2-21-24.
27. Влияние ферментативной обработки мезги на содержание фенольных веществ в вишневых натуральных и спиртованных соках и их стабильность / Мамедов Э.Р. [и др.] // Вестник Международной академии холода. 2020. № 3. С. 52–57. DOI:10.17586/1606-4313-2020-19-3-52-57.
28. Оценка антиоксидантной активности пищевых продуктов с использованием индикаторной системы на основе фенантролиновых комплексов железа / Цюпко Т.Г. [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2011. № 5–6. С. 84–87.

**Информация об авторах**

К. Н. Ницевская – к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории качества и безопасности отдела пищевых систем и биотехнологий, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН).

С. В. Станкевич – к.с.-х.н, старший научный сотрудник лаборатории качества и безопасности отдела пищевых систем и биотехнологий, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН).

Е. В. Бородай – старший научный сотрудник лаборатории трансфера технологий отдела пищевых систем и биотехнологий, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН).

**REFERENCES**

1. Shao, Z., Zhong, J., Fang, Y. & Ma, Y. (2022). Effect of Kvass on Improving Functional Dyspepsia in Rats. *Hindawi. Computational and Mathematical Methods in Medicine*, Article ID 5169892, 7 pages. DOI: 10.1155/2022/5169892.
2. Otradnov, A.I., Morogenko, Yu.V., Egorova, E.Y. (2018).

## ИССЛЕДОВАНИЕ КВАСОВ НЕОСВЕТЛЕННЫХ ИЗ РЕПЫ С РЯБИНОЙ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЧЕРНОПЛОДНОЙ

The use of regional fruit and berry raw materials for the enrichment of fermentation kvass // *Polzunovskiy vestnik*. No. 2. pp. 32-36. DOI: 10.25712/2072-8921.2018.02.007. (In Russ.).

3. Dulka, O., Prybyl'skiy, V., Oliinyk, S., Kuts, A. & Vitriak, O. (2019). Using of clinoptilolite, activated charcoal and rock crystal in water purification technology to enhance the biological value of bread kvass. *Ukrainian Food Journal*, 8 (2), 307-316.

4. Kolobaeva, A.A., Kotik, O.A., Sorokina, I.A. & Ponomareva, T.V. (2020). Expanding the assortment of fermented beverages at small enterprises. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 422(1):012083. doi:10.1088/1755-1315/422/1/012083.

5. Lidums, I., Karklina, D., Sabovics, M. & Kirse, A. (2015). Evaluation of aroma volatiles in naturally fermented kvass and kvass extract. *Research for rural development*. 1. 143-149.

6. Pomozova, V.A. [et al.]. (2012). On the issue of functional drinks. Beer and drinks. 6. 10-11. (In Russ.).

7. Basinskiene, L., Juodeikiene, G., Vidmantiene D., Tenkanen, M., Makaravicius, T. & Bartkiene, E. (2016). Non-Alcoholic Beverages from Fermented Cereals with Increased Oligosaccharide Content. *Food Technol. Biotechnol.*, 54 (1), 36-44.

8. Bibik, I.V. & Loskutova, E.V. (2014). Scientific substantiation of the amount of dihydroquercetin application in the development of kvass technology "Vinogradny" // *Technique and technology of food production*. 1. 5-10. (In Russ.).

9. Palagina, M.V. [et al.]. (2011). New kvasses using syrups from Far Eastern wild plants. *Vestnik TGEU*. 4. 65-68. (In Russ.).

10. Oganesyants, L.A., Kobelev, K.V. & Boikov, A.V. (2013). Highly efficient technology of non-alcoholic kvasses // *Food industry*. 9. 28-29. (In Russ.).

11. Pozdnyakova, V.F. & Senchenko, M.A. (2019). Production of kvass using sugar substitutes from vegetable raw materials grown in the Yaroslavl region. *Bulletin of SUSU. The series "Food and biotechnology"*. 7(4). 55-63. DOI: 10.14529/food190406. (In Russ.).

12. Palagina, M.V., Isaenko, E.A. & Nabokova, A.A. (2011). The influence of wild plant processing products on the quality indicators of kvass. Beer and beverages. 1. 40-41. (In Russ.).

13. Amarowicz, R., Janiak, M., Zannini, E. & Arendt, E.K. (2019). Antioxidant potential of kvasses. *Bulgarian Chemical Communications*, 51, *Special Issue A*, 239-244.

14. Belyakova, T.N., Zabolalova, L.A., Shevchenko, M.Yu. The use of turnips (*Brassica rapa* L.) in the production of fermented milk-based beverage with oncoprotective properties. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov*. 2018. No. 3 (52). pp. 111-119. (In Russ.).

15. Naimusheva, L.V., Zykova, I.D. & Satomik, A.D. (2016). The prospects of turnips (*Brassica rapa* L.) as a source of valuable biologically active substances. *Bulletin of KrasGAU*. 6. 120-125. (In Russ.).

16. Kolesnichenko, M.N. & Kamenskaya, E.P. (2020). Prospects for the use of honeysuckle fruits in the production of bread kvass. *Polzunovsky bulletin*. 1. 13-20. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.003. (In Russ.).

17. Blinova, K.F. & Yakovleva, G.P. (1990). Botanical and pharmacognostic dictionary. Reference. Manual. M.: Higher School, 223-224. (In Russ.).

18. Useful properties of mountain ash. DOI:10.59316/v14.88 Internet portal. URL: <https://edaplus.info/produce/rowan.html?ysclid=lqeks4uw6112296340>. (In Russ.).

19. Shevtsova, T.V. & Kamenskaya, E.P. (2021). Study-

ing stability of a fermented beverage based on *Oryzomyces indic* and black mountain ash juice technologies and equipment of the chemical, biotechnological and food industries. Materials of the XIV All-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists with international participation, dedicated to the 90th anniversary of Academician Sakovich G.V. Biysk. Alt-STU.2021. From 398-402. (In Russ.).

20. Anikina, N.S., Chervyak, S.N. & Gnilomedova, N.V. (2019). Methods for evaluating the color of wines. Review. *Analytics and control*. 23. No. 2. 158-167. DOI: 10.15826/analitika.2019.23.2.003. (In Russ.).

21. Maslennikov, P.V. [et al.]. (2013). The content of anthocyanins and carotenoid pigments in medicinal plants. *Electronic journal "Bulletin of Moscow State University"*. [www.evestnik-mgou.ru](http://www.evestnik-mgou.ru). 2013.1. (In Russ.).

22. Korenman, Ya.I. (2002). A workshop on analytical chemistry. Food analysis: Studies. stipend. Voronezh. State Technical Academy. Voronezh. 408. (In Russ.).

23. Kukushkina, T.A. & Fomina, T.I. (2017). The content of biologically active substances in the leaves of some species of the genus *Campanula* L. (*Campanulaceae*). *Bulletin of Tomsk State University. Biology*. 38. 122-133. (In Russ.).

24. Fedoseeva, L.M. (2005). The study of tannin substances of underground and aboveground vegetative organs of thick-leaved badan (*Vegdepia crassifolia* (L.) Fritsch), growing in Altai. *Chemistry of vegetable raw materials*. 3. 45-50. (In Russ.).

25. Chupakhina, G.N., Maslennikov, P.V. & Skrypnik, L.N. (2011). Natural antioxidants (ecological aspect): monograph. Kaliningrad, 112. (In Russ.).

26. Valeeva, I.I., Gusev, A.N. (2018). Formulation development and quality assessment of functional kvass using non-traditional raw materials. *Bulletin of the BGAIU*. 2. 21-24 DOI: 10.31563/1684-7628-2018-46-2-21-24. (In Russ.).

27. Mammadov, E. R. [et al.]. (2020). The effect of enzymatic treatment on the content of phenolic substances in cherry natural and alcoholic juices and their stability. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. 3. 52-57. DOI:10.17586/1606 4313 2020 19 3-52-57. (In Russ.).

28. Tsyupko, T.G. [et al.]. (2011). Evaluation of the antioxidant activity of food products using an indicator system based on phenanthroline iron complexes. *Izvestia of higher educational institutions. Food technology*. 5-6. 84-87. (In Russ.).

### Information about the authors

*K.N. Nitsievskaya* - Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Department of Food Systems and Biotechnology, Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences.

*S.V. Stankevich* - Candidate of Agricultural Sciences, Senior researcher, Department of Food Systems and Biotechnology, Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences.

*E.V. Boroday* - Senior researcher, Department of Food Systems and Biotechnology, Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 16 января 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 16 Jan 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 664.788.8(045)

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.019



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ХРАНЕНИЯ ЗЕРНА ГРЕЧИХИ В РУКАВАХ

Василий Александрович Марьин<sup>1</sup>, Александр Леонидович Верещагин<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск, Россия

<sup>1</sup> tehbiysk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1858-238X>

<sup>2</sup> val@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6061-7064>

**Аннотация.** Рассмотрены возможности хранения зерна гречихи с разной влажностью, разным содержанием сорной примеси в полимерных рукавах. Технология хранения зерна в рукавах основывается на хранении без доступа кислорода воздуха. Эта цель достигается процессами дыхания самого зерна и микроорганизмов, вследствие чего происходит превращение кислорода в углекислый газ. Так как воздухообмен с внешней средой закрыт, происходит консервация зерна в среде углекислого газа, который является идеальным натуральным консервантом. В углекислой среде погибает аэробная микрофлора, замедляются реакции окисления, что обеспечивает высококачественное хранение. Показаны факторы, которые накладывают ограничения на использование полимерных рукавов для хранения. К таким ограничениям отнесли использование зерна с влажностью, превышающей требования НД, а также ограничение по времени, связанное с низкой температурой окружающей среды, при которой зерно приобретает минусовые температуры. Анализ образцов зерна, хранившегося в рукавах, позволяет утверждать, что с увеличением влажности при охлаждении зерна менее нуля градусов количество испорченных зерен увеличивается. К испорченным зернам относили те, которые при ГТО темнеют, это зерна с рыхлым (белые) легко разрушающимся ядром при надавливании и зерна со стекловидным эндоспермом. Загнивших, заплесневелых, с ядром коричневого цвета зерен обнаружено не было ни в одном из хранившихся рукавов.

**Ключевые слова:** зерно гречихи, влажность, полимерный рукав, хранение, изменение качества, температура.

**Для цитирования:** Марьин В. А., Верещагин А. Л. Исследование температурного режима хранения зерна гречихи в рукавах // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 126–131. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.019, EDN: <https://elibrary.ru/RNSDSO>.

Original article

## INVESTIGATION OF TEMPERATURE REGIME OF BUCKWHEAT GRAIN STORAGE IN SLEEVES

Vasily A. Marin<sup>1</sup>, Alexander L. Vereshchagin<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Biysk Institute of Technology (branch) of the Polzunov Altai State Technical University, Biysk, Russia

<sup>1</sup> tehbiysk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1858-238X>

<sup>2</sup> val@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0009-0002-6061-7064>

**Abstract.** The possibilities of storing buckwheat grains with different humidity and different content of weed admixture in polymer sleeves are considered. The technology of grain storage in the hands is based on storage without access to oxygen in the air. This goal is achieved by the process of respiration of the grain itself and microorganisms, as a result of which oxygen is converted into carbon dioxide. Since the air exchange with the external environment is closed, the grain is preserved in an environment of carbon dioxide, which is an ideal natural preservative. Aerobic microflora dies in the carbon dioxide environment, oxidation reactions slow down, which ensures high-quality storage. The factors that impose restrictions on the use of polymer storage hoses are shown. Such restrictions include the use of grain with a humidity exceeding the requirements of the ND, as well as a time limit associated with a low ambient temperature, at which

© Марьин В. А., Верещагин А. Л., 2024

*grain acquires subzero temperatures. The analysis of grain samples stored in the sleeves allows us to confirm that with an increase in humidity when the grain is cooled below zero degrees, the number of spoiled grains increases. Spoiled grains included those that darken during GTO, these are grains with a loose (white) easily collapsing core when pressed and grains with a vitreous endosperm. Rotten, moldy, brown-colored kernels were not found in any of the stored sleeves.*

**Keywords:** buckwheat grain, humidity, polymer sleeve, storage, quality change, temperature.

**For citation:** Maryin, V.A. & Vereshchagin, A.L. (2024). Investigation of temperature regime of buckwheat grain storage in sleeves. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 126-131. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.019, EDN: <https://elibrary.ru/RNSDSO>.

## ВВЕДЕНИЕ

Хранение зерна в полимерных рукавах является для России относительно новой технологией [1]. Эта технология была разработана за рубежом, однако и у наших производителей зерна стала популярной [2, 3]. Интерес к такой технологии связан недостаточным количеством зернохранилищ. Преимуществом такой технологии хранения является отсутствие капитальных затрат на устройство зернохранилищ, незначительных единоразовых затрат и возможность хранить зерно в любом доступном месте [4, 5]. Размещение рукавов не требуют специальных площадок, они могут быть уложены непосредственно в поле или на территории своего хозяйства на открытых площадках [6, 7].

Полиэтилен, из которого производят рукава для зерна, достаточно плотный, толщина пленки обычно 200–250 мкм. Рукав изготавливают из трехслойного полиэтилена. Внутренний слой черного цвета позволяет сохранять в мешке низкую температуру. Два внешних слоя белые, они отражают солнечные лучи и защищают от ультрафиолета. Такой рукав бесшовный с двумя открытыми концами, морозостойкий.

Плотность наполнения рукава регулируется тормозной системой загрузочной техники. По техническим показателям производитель гарантирует сохранность при растяжении до 10,0 % включительно. Для контроля наполнения и растяжения на рукаве нанесена шкала растяжимости и используется специальная линейка, которая входит в комплект с каждым рукавом.

Плотность наполнения является достаточно важной и влияет не только на наполняемость рукава, но и на сохранность зерна, так как при низкой наполняемости внутри остается большое количество воздуха. Высокая плотность наполнения может привести к повреждению рукава.

Для хранения зерна в рукавах требуется следующая техника: 1) бункер-накопитель (экс-трактор); 2) упаковщик зерна в рукав GB 150, 3) трактор; 4) автомобиль; 5) зернораспаковочная машина ЗРМ-180 [8].

Суть технологии хранения зерна в рукавах заключается в хранении без доступа кислорода

воздуха в анаэробных условиях. Поглощение кислорода воздуха происходит за счет дыхания самого зерна и микроорганизмов, что приводит к снижению массовой доли кислорода и возрастания доли углекислого газа, который является идеальным природным консервантом. Поскольку газообмен с внешней средой закрыт, происходит хранение зерна в инертной среде углекислого газа, при этом все насекомые и вредители погибают уже через 10–20 дней [9].

Полимерные рукава можно использовать для хранения всех видов зерновых, в настоящее время их используют и для хранения кормов, силоса, сенажа, фуража и даже жома сахарной свеклы [10, 11].

Тем не менее, данные сведения в зарубежной и отечественной литературе относительно хранения зерна в контролируемой газовой среде несут, как правило, рекламный характер и касаются, прежде всего, физических параметров, а также финансовых преимуществ их использования [12]. Однако научно обоснованные мнения о сохранности зерна и изменении качества в процессе хранения в литературе отсутствуют. Опыт закладки и хранения зерна гречихи в рукавах в течение трех лет позволяет утверждать, что такое хранение имеет ряд ограничений.

Поэтому актуальным является исследование и изучение вопроса сохранности зерна в рукавах при хранении в послеуборочный период.

Целью настоящей работы является исследование температурного режима хранения зерна гречихи в рукавах в климатических условиях предгорной зоны Алтайского края.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служило рядовое зерно гречихи собранное в предгорной части Алтайского края 2021-2023 годах. Подготовку партий к закладке в рукава формировали по влажности и сорной примеси исходя из технологических возможностей перерабатывающего цеха. По влажности зерно направляли для закладки по рукавам с разницей до 2,0 %, по сорной примеси до 7,0 % и от 7,0 % и выше. Зерно, зараженное вредителями в указанный период для закладки в



рукава, не использовали. Партии зерна, которые по технологическим свойствам было невозможно использовать для переработки в крупу, направляли на сушку или подработку.

Начальная температура перед закладкой зерна в отдельных рукавах могла различаться до 6,0 °C° максимальная температура не превышало 25,0 °C. Последующие измерения температуры показали, что она выравнивается в течении 3-4 недель в зависимости от температуры окружающей среды. Поэтому в дальнейшем этот показатель не учитывался при формировании партии.

Показатели качества зерна, направленного для закладки на хранение в рукава представлены в таблице 1, в качестве сравнения представлены данные требования НД (ГОСТ 19092-2021)

Таблица 1 – Показатели качества зерна, которое было направлено для упаковывания на хранение в рукава

Table 1 – Indicators of the quality of grain, which was sent for packaging for storage in sleeves

Показатель	Отклонение показателей образцов от требований НД
Состояние	нет
Цвет	нет
Запах	нет
Влажность, %	+7,8
Содержание ядра,	
Пленчатость,	–
Сорная примесь, %	+9,6
Зерновая примесь, %	+0,3

НД – нормативные документы

Анализ таблицы позволяет утверждать, что используемое для хранения в рукавах зерно не соответствует по показателям качества нормативным документам, так по основным показателям по влажности разность достигает 7,8 %, по сорной примеси – 9,6 %.

При оценке качества определяли цвет, запах, зараженность вредителями, засоренность и влажность. Испытания проводили в производственных условиях, рукава с зерном хранились на специально подготовленной открытой площадке.

Показатели качества каждого рукава до и после хранения определяли по следующим показателям: влажность согласно ГОСТ 13586.5-2015. Правила приемки и методы отбора проб – ГОСТ 13586.3-2015. Методы определения зараженности вредителями ГОСТ 13586.6-93. Методы определения зараженности и поврежденности вредителями – ГОСТ 13586.4-83. Методы определения пленчатости – ГОСТ 10843-76. Метод опре-

деления влажности – 13586.5-2015. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей – ГОСТ 30483-97. Методы определения запаха и цвета – ГОСТ 10967-2019. Гречиха Технические условия – ГОСТ 19092-2021.

Измерение температуры внутри рукава определяли термоштангой с цифровым электронным блоком ЭТЦ-2,0, анализ зерна определяли с помощью ручного пробоотборника ПЗМ длиной 1,5 м, и внутренним диаметром 35 мм. Для рукавов длиной 60 м температуру и пробы зерна для анализа отбирали в 8 равноудаленных местах, для рукавов длиной 75 м – в 10 равноудаленных местах в середине рукава на расстоянии от земли 1,0 метр. После замера температуры или взятия проб поврежденные места заклевали скотчем.

В экспериментальной части приведены средние значения показателей. Оценку эффективности работы технологии оценивали по массовой доле целого и дробленого ядра после шелушения. Достоверность полученных результатов подтверждена пятикратной повторностью экспериментов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Загрузку зерна гречихи разной влажности в рукава производили в сентябре–октябре.

Выгрузку первых рукавов с влажностью 19,0 % и более осуществляли в конце декабря. В течение всего времени хранения контролировали температуру зерна и качественные показатели.

Изменение средней температуры из восьми точек в течение срока хранения зерна разной влажности в рукавах представлено на рисунке 1.

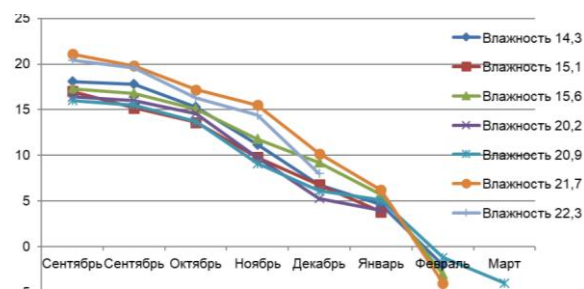


Рисунок 1 – Влияние влажности зерна на изменение температуры зерна гречихи при хранении его в рукавах

Figure 1 – The effect of grain moisture on the temperature change of buckwheat grain when storing it in sleeves

Анализ рисунка 1 позволяет утверждать, что изменение температуры в рукавах в течение хранения зависит не только от влажно-



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ХРАНЕНИЯ ЗЕРНА ГРЕЧИХИ В РУКАВАХ

сти заложенного зерна, но и от его температуры в момент его закладки. Охлаждение же зерна до минусовых температур может приводить к его порче. Проведенные ранее исследования с зерном, хранившимся в валках под снегом на поле при минусовых температурах, показали ухудшение его качества, что привело к появлению испорченных зерен [13].

Анализ результатов исследования проб продуктов после хранения показал, что важным фактором является правильная плотность укладки и тщательная герметизация рукава, отсутствие повреждений птицами и грызунами в процессе хранения. Для решения данной проблемы использовали специальные отпугиватели птиц и комплекс мер по уничтожению грызунов, в том числе ядохимикаты, капканы и мышеловки.

Опыт загрузки зерна в рукава показал, что влажное зерно менее плотно укладывается в рукав, поэтому в таких рукавах температура падает более медленно, возможно, вследствие более длительного процесса выработки кислорода зерном.

При появлении в феврале сильного падения температуры в рукавах было принято решение определить температуру в разрезе рукава по его толщине сверху вниз. Результаты измерения разных силосов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение температуры зерна в разных рукавах в разрезе по толщине

Table 2 – Grain temperature change in different sleeves by thickness

Месяц контроля	Температура, °С зерна гречихи на разной высоте рукава от земли					
	0,25 м	0,50 м	0,75 м	1,0 м	1,25 м	1,5 м
Февраль	-8,3	-9,8	-9,6	-7,1	-4,7	-2,9
Февраль	-7,8	-8,8	7,6	-5,7	-2,8	0
Февраль	-6,5	-7,7	7,6	-5,0	-2,8	0
Февраль	-0,9	-2,8	-3,7	3,3	2,3	0,4
Февраль	-0,7	-0,9	-3,4	-3,7	-2,7	-0,8
Март	-0,5	-0,6	-1,4	-2,4	-1,1	-0,4
Март	-0,6	0,0	-0,9	-1,2	-0,8	0,2
Март	-0,7	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	0,2
Март	0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1

Анализ таблицы 2 позволяет утверждать, что в процессе хранения произошло переохладение, температура зерна по всему объему рукава достигло отрицательных значений. Действие отрицательных температур ухудшает качественные показатели зерна особенно влажного и сырого.

С целью оценки изменений качественных показателей определяли содержание испорченных зерен до и после хранения для зерна с различной влажностью и содержанием сорной примеси.

Контроль температуры при влажности, соответствующей НД проводили 1 раз в две недели, зерна с более высокой влажностью 1 раз в неделю. Результаты представлены в таблице 3, где указаны: период хранения время нахождения зерна в рукавах, температура начальная (средняя температура зерна в момент закладки), конечная (средняя в момент выгрузки из рукава), сор (среднее содержание сора), доля испорченных зерен до (в момент закладки зерна), после (при выгрузке).

Контроль качества зерна гречихи в рукавах, температуру и сохранность при влажности, соответствующей НД, проводили один раз в две недели, зерна с более высокой влажностью – один раз в неделю, результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели качества зерна в рукавах с разной влажностью до и после хранения

Table 3 – Grain quality indicators in sleeves with different humidity before and after storage

Опыт	Срок хранения, месяцев	Температура хранения, °С начальная/конечная	Влажность, %	Доля испорченных зерен до и после разгрузки, %
1	3	17,6/+6	14,4	0,0/0,0
	5	16,8/+3	14,9	0,0/0,0
	5	18,1/-2	14,3	0,0/0,0
	6	13,9/-4	14,8	0,0/0,32
2	3	15,6/+2	15,3	0,0/0,0
	4	17,0/+4	15,1	0,0/0,0
	5	17,3/-3	15,6	0,0/0,20
	6	18,2/-3	15,0	0,0/0,28
3	3	16,4/+4	20,2	0,0/0,0
	4	17,2/+2	20,6	0,0/0,50
	5	16,0/-3	20,9	0,0/0,86
	6	18,5/-4	20,6	0,0/1,20
4	3	20,4/+8	22,3	0,0/0,0
	4	18,1/+2	21,6	0,0/0,48
	5	21,1/-2	21,7	0,0/0,96
	6	16,9/-5	21,9	0,0/1,82

Как следует из таблицы 3, зерно хранилось в рукавах от 3 до 6 месяцев. Выгрузка зерна осуществлялась исходя из потребностей и изменений качественных показателей. Исследования зерна показало, что температура зерна в процессе хранения является определяющим фактором, влияющим на качества зерна. Так чем выше температура зерна при выгрузке зерна, тем меньше изменение его качественных показателей, а именно содержание испорченных зерен. В процессе исследования было выявлено, что отрицательные температуры негативно влияют на все исследуемые партии зерна с влажностью от 13,9 до 21,1%,

поэтому переохлаждение зерна является нежелательным. Так же было выявлено, что с увеличением влажности количество испорченных зерен при переработке зерна с использованием ГТО увеличивается.

Необходимо отметить, что в процессе исследования зерна не было обнаружено загнивших, заплесневелых, с ядром коричневого цвета зерен ни в одном из исследованных рукавов. К испорченным относили рыхлые (белые) легко разрушающиеся при надавливании, стекловидные зерна. На рисунке 2 представлены фотографии типичных испорченных зерен, в качестве сравнения на рисунке 2 представлены фотографии нормального зерна, отличающиеся целостностью ядра и прочной структурой.

Таким образом, анализ зерна гречихи показал, что при его исследовании после хранения были выявлены изменения качественных показателей, а именно появление рыхлых зерен.

Было выявлено, что такие зерна появляются, только после переохлаждения зерна ниже 0С°, причем интенсивность появления таких зерен связана с влажностью хранящегося зерна. Механизм появления таких зерен схож с появлением таких зерен в зерне «весеннего урожая» и был исследован в работе [14], где показано, что охлаждение зерна гречихи до отрицательной температуры мо-

жет приводить к кристаллизации воды и разрушению структуры ядра (о чем свидетельствует снижение плотности зерна «весеннего» урожая).

Как следует из таблицы 3, с увеличением влажности от 14,3 % до 21,9 % количество испорченных зерен выросло от 0 до 1,82 %.

К испорченным зернам были отнесены зерна с белым эндоспермом, которые при переработке зерна в крупу не влияют на качество вырабатываемой продукции, так как при шелушении они разрушаются и представляют собой мучку, которая отбирается в отходы.

Для характеристики качества зерна после хранения в рукавах определяли КЧЖ (кислотное число жира). Результаты показали, что при изменении влажности хранящегося зерна от 13,5 % до 15,3 % КЧЖ возрастало от 9,5 мг КОН/г до 11,9 мг КОН/г, что не противоречит ранее проведенным исследованиям [15]. Зерно по своим показателям сравнимо с нормальным зерном гречихи, что позволяет использовать его для производства крупы. Однако необходимо отметить, что в данной статье рассматривается только процесс переохлаждения зерна. Процесс размораживания зерна не исследовался, так как рукава были распакованы до начала нагревания зерна в весенне-летний период.



Рисунок 2 – Зерна гречихи, хранившиеся в рукавах, отнесенные к испорченным зернам

Figure 2 – Buckwheat grains stored in sleeves classified as spoiled grains

Таким образом, использование полимерных рукавов для хранения зерна в осенне-зимний период в течение 3-6 месяцев показало, что температура и влажность зерна в рукавах являются главными факторами, влияющим на качества зерна. Было установлено:

- что в процессе хранения зерно охлаждается до отрицательных температур;
- появление рыхлых легко разрушающихся, стекловидных зерен;
- с увеличением влажности хранящегося зерна доля рыхлых (испорченных) зерен увеличивается;
- для исключения появления рыхлых зерен необходимо распаковывать рукава до момента охлаждения зерна до отрицательных температур;
- для сохранения качественных показателей целесообразно закладывать на хранение партии зерна с влажностью до 14,5 %;
- загнивших и заплесневелых зерен в процессе хранения не выявлено;
- за изученный период хранения кислотное число жира зерна гречихи не превысило 11,9 мг КОН/г;
- для сохранения качественных показателей в процессе хранения использование полимерных рукавов целесообразно до момента охлаждения зерна гречихи до отрицательных температур.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыт хранения зерна пшеницы в рукавах на ХПП Акмолинской области / Г.А. Лоскутова, А.А. Шунеева, О.В. Кольтюгина // Вестник Алтайской науки. 2015. № 1(23). С. 425–428.
2. Андреева Е.В. Анаэробное хранение свежеубранного фуражного зерна в условиях северо-запада // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2011. № 1. С. 253.
3. Повышение качества хранения кормов и сельскохозяйственной продукции в герметичных рукавах / Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, Р.В. Безносюк, А.Д. Чернышев, А.И. Мартышов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023. Т. 15. № 4. С. 152–157.
4. Оценка вариантов технологий механизированного хранения зерна в сибире / Г.Ф. Бахарев, Л.И. Дролова, В.А. Сеницын // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 6 (176). С. 138–142.
5. Вартанова М.Л. Применение современных технологий в сельском хозяйстве как средство увеличения производительности и минимизации потерь в условиях импортозамещения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2018. Т. 26. № 4. С. 585–597.
6. Караблин А.О., Тымчук С.В. Формирование инновационного подхода в сфере распределения ресурсов организации (на примере технологии поли-

мерных рукавов) // Новая наука: Современное состояние и пути развития. 2016. № 6–1. С. 68–71.

7. Кирпа Н.Я. Научные принципы и промышленные технологии хранения зерновых масс // Зерновые продукты и комбикорма. 2013. Т. 51. № 3. С. 11–16.

8. Обзор существующих автоматизированных систем для хранения зерна / Т.Ю. Никонова, Г.С. Жетесова, О.М. Жаркевич, А.А. Калинин, Л.И. Дайч, М.М. Баймульдин // Труды университета. 2020. № 3 (80). С. 148–152.

9. Влияние состава газовой среды на качественные и физико-химические показатели комбикорма / А.Д. Чернышев, М.Ю. Костенко, И.А. Мурог [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 189. С. 164–173.

10. Vliyaniye sostava gazovoy sredy na kachestvennyye fiziko-himicheskiye pokazately kombikorma / A.D. Chernyshev, M.YU. Kostenko, I.A. Murog [i dr.] // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. № 189. S. 164–173. DOI: 10.21515/1990-4665-189-018. EDN RLEGQN.

11. Шонтуков Б.З., Бекулов Х.М. Новая технология-хранение с/х кормов в полимерных рукавах // Экономика и социум. 2017. № 1–2 (32). С. 1030–1035.

12. Экономическое обоснование направлений инновационного развития технико-технологической базы производства и хранения продукции растениеводства / А.Р. Сайфетдинов, М.Е. Трубилин, Г.Г. Благодарный // Colloquium-Journal. 2018. № 8–5 (19). С. 59–62.

13. Влияние температуры обработки на минеральный состав зерна гречихи, перезимовавшей под снегом / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин, Р.В. Ащеулов // Техника и технология пищевых производств. 2016. № 3 (42). С. 31–37.

14. Марьин В.А., Верещагин А.Л. Изменение кислотного числа жира гречневой крупы ядрица в период гарантированного срока хранения. // Хлебопродукты. 2015. № 7. С. 54–56.

#### Информация об авторах

*В. А. Марьин – к.т.н., доцент кафедры химической технологии энергонасыщенных материалов и изделий, Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ.*

*А. Л. Верещагин – д.х.н., профессор кафедры химической технологии энергонасыщенных материалов и изделий, Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ.*

#### Information about the authors

*V.A. Maryin - Ph.D., Associate Professor of the Department of Chemical Technology of Energy-saturated Materials and Products, Biysk Institute of Technology (branch) AltSTU.*

*A.L. Vereshchagin - Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemical Technology of Energy-saturated Materials and Products, Biysk Institute of Technology (fili-al) AltSTU.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 16 января 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 16 Jan 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*



Научная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК663.052

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.020



## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА БИОСИНТЕЗ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ БАКТЕРИЯМИ ВИДА *Xanthomonas campestris*

Руслан Евгеньевич Моисеев <sup>1</sup>, Наталья Юрьевна Шарова <sup>2</sup>,  
Анатолий Павлович Непомнящий <sup>3</sup>, Владислав Эдуардович Путилов <sup>4</sup>,  
Оксана Витальевна Астафьева <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> ВНИИ пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН Россия, Санкт-Петербург

<sup>1, 2, 4</sup> Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург

<sup>1</sup> rus.moiseev2003@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9950-3650>

<sup>2</sup> natalya\_sharova1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4208-9299>

<sup>3</sup> nepomnyashiy.95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0088-2704>

<sup>4</sup> vladislav.e.putilov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-8138-4727>

<sup>5</sup> astra39@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0187-3984>

**Аннотация.** В данной работе была определена зависимость биосинтеза ксантановой камеди бактерией *Xanthomonas campestris* B-6720 от состава питательной среды. Цель данной работы заключалась в сравнении эффективности применения различных источников углерода и азота для биосинтеза ксантановой камеди и выборе их наиболее благоприятного сочетания для культуры-продуцента. Культивирование проводилось в колбах Эрленмейера в течение 120 часов в условиях постоянной аэрации в шейкере-инкубаторе Inforce Multitron HT. Ксантановую камедь выделяли методом спиртового осаждения и сравнивали выходы, а также определяли функциональный состав и реологические показатели с помощью ИК-Фурье спектрометра Shimadzu IRTracer 100 и вискозиметра Brookfield LVDV-II+ Pro соответственно. В ходе работы определены наиболее предпочтительные для биосинтеза источники углерода и азота (меласса в концентрации 20 г/л и дрожжевой экстракт в концентрации 1 г/л). Выход целевого продукта составил 7,62 г/л (38,1 % от общей концентрации источника углерода 20 г/л) и 14,41 г/л (28,82 % от общей концентрации источника углерода 50 г/л) соответственно. Выход ксантановой камеди при культивировании на питательной среде, содержащей оба компонента, составил 10,6 г/л (53 % от общей концентрации источника углерода 20 г/л). ИК-спектроскопия и вискозиметрия показали высокое соответствие полученной ксантановой камеди и коммерческой ксантановой камеди. Исследование показало возможность использования питательной среды альтернативного состава для повышения биосинтеза экзополисахарида бактериальным штаммом *Xanthomonas campestris* B-6720, а также возможность использования вторичного сырья в производстве ксантановой камеди.

**Ключевые слова:** *Xanthomonas campestris*, ксантановая камедь, пищевые добавки, загуститель, культивирование, ВЭЖХ, ИК-спектроскопия, вискозиметрия.

**Для цитирования:** Влияние химического состава питательных сред на биосинтез ксантановой камеди бактериями вида *Xanthomonas campestris* / Р. Е. Моисеев [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 132–138. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.020, EDN: <https://elibrary.ru/IINGIT>.

Original article

## CHEMICAL COMPOSITION OF GROWTH MEDIUM FOR XANTHAN GUM PRODUCTION BY *Xanthomonas campestris* bacteria

Ruslan E. Moiseev <sup>1</sup>, Natalia Yu. Sharova <sup>2</sup>, Anatoly P. Nepomnyashchy <sup>3</sup>,  
Vladislav E. Putilov <sup>4</sup>, Oksana V. Astafyeva <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS St. Petersburg, Russia

<sup>1, 2, 4</sup> ITMO University, St. Petersburg, Russia

© Моисеев Р. Е., Шарова Н. Ю., Непомнящий А. П., Путилов В. Э., Астафьева О. В., 2024

<sup>1</sup> rus.moiseev2003@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9950-3650>

<sup>2</sup> natalya\_sharova1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4208-9299>

<sup>3</sup> nepomnyashiy.95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0088-2704>

<sup>4</sup> vladislav.e.putilov@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-8138-4727>

<sup>5</sup> astra39@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0187-3984>

**Abstract.** This research aimed to investigate the impact of variable components of the growth medium on the yield of xanthan gum produced by *Xanthomonas campestris* bacteria. Specifically, different carbon and nitrogen sources were compared to determine the most effective combination for enhancing xanthan gum production. Fermentation experiments were carried out in Erlenmeyer flasks over a period of 120 hours with continuous aeration in a shaking incubator (Inforce Multitron HT). Xanthan gum was then extracted from the fermentation broth using alcohol precipitation, and the yields were evaluated. Further analysis was conducted using IR spectroscopy (FTIR Shimadzu IRTracer 100) and viscosimetry (Brookfield LVDV-II+ Pro) to compare the synthesized sample with a commercial sample of xanthan gum. During the investigation, optimal sources of carbon and nitrogen for biosynthesis were determined (molasses at a concentration of 20 g/l and yeast extract at a concentration of 1 g/l). The yield of the target product under these conditions was 7.62 g/l (38.1% of the total carbon source concentration of 20 g/l) and 14.41 g/l (28.82% of the total carbon source concentration of 50 g/l) respectively. When xanthan gum was cultured in a nutrient medium containing both components, the yield was 10.6 g/l (53% of the total carbon source concentration of 20 g/l). Analysis with IR spectroscopy and viscometry indicated a high similarity between the produced xanthan gum and commercial xanthan gum. These findings demonstrate the potential for utilizing an alternative growth medium composition to enhance exopolysaccharide biosynthesis by *Xanthomonas campestris* B-6720 bacteria, as well as the ability to use secondary raw materials in xanthan gum production.

**Keywords:** *Xanthomonas campestris*, xanthan gum, food additives, thickener, fermentation, HPLC, IR-spectroscopy, viscosimetry.

**For citation:** Moiseev, R.E., Sharova, N.Yu., Nepomnyashchy, A.P., Putilov, V.E. & Astafyeva, O.V. (2024). Chemical composition of growth medium for xanthan gum production by *Xanthomonas campestris* bacteria. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 132-138. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.020, EDN: <https://elibrary.ru/IINGIT>.

## ВВЕДЕНИЕ

Ксантановая камедь – природное органическое соединение со структурной формулой  $(C_{35}H_{49}O_{29})_n$ . Данное вещество является полисахаридом с мономерным звеном, основная цепь которого полностью идентична молекуле целлюлозы, к которой присоединены остатки молекул глюкозы, маннозы, глюкуроновой кислоты. В ответвлениях также присутствуют пируватные и ацетильные группы.

Ксантановая камедь является распространённым промышленным загустителем. Способность адсорбировать воду с образованием трехмерной сетки из двойных спиралей данного полисахарида обуславливает стабильность его водных растворов в широком диапазоне температур (–18 – 120 °C), значений pH (2–12), а также в присутствии ферментов и поверхностно-активных веществ без значительного понижения вязкости [1]. Описанные показатели делают ксантановую камедь необходимой во многих отраслях промышленности, таких как пищевая, косметическая и нефтедобывающая.

Основным методом получения ксантановой камеди является микробный синтез с использованием бактерий рода *Xanthomonas*. Большая часть данных микроорганизмов в естественных условиях является паразитами и возбудителями болезней растений, в частности, семейства Brassicaceae [2]. Полисахарид

играет важную роль на этапе закрепления бактериальной культуры на листьях растений, а также препятствует проникновению вирусов в клетку, предотвращает пересыхание [3, 4].

Известно множество различных представителей бактерий рода *Xanthomonas*, способных синтезировать ксантан. Одним из них является штамм *Xanthomonas campestris* B-6720. Несмотря на распространённость, данный штамм не может считаться суперпродуцентом ксантановой камеди в классических условиях культивирования.

Цель представленной работы заключалась в подборе условий культивирования штамма *Xanthomonas campestris* B-6720, обеспечивающих повышение способности синтезировать ксантановую камедь в лабораторных и промышленных условиях. В качестве варьируемых параметров были выбраны источники углерода и азота. Проанализированные в ходе работы показатели – выход конечного продукта и концентрация остаточных сахаров после культивирования, а также его функциональный состав и реологические характеристики. В каждом эксперименте полученные данные сравнивались с контрольной средой.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

*Микроорганизмы.* Объектом исследования являлся штамм *Xanthomonas campestris*

В-6720. Культура была получена из коллекции ВКПМ и восстановлена на среде, содержащей солодовый экстракт и пептон в концентрациях 17 г/л и 10 г/л соответственно. Хранение восстановленной культуры осуществлялось на среде МПА при 4 °С.

*Питательная среда.* Для контрольного эксперимента была использована питательная среда следующего состава (г/л): глюкоза – 50,  $K_2HPO_4$  – 5,0,  $(NH_4)_2SO_4$  – 3,0, лимонная кислота – 2,0,  $H_3BO_3$  – 0,006,  $ZnO$  – 0,006,  $CaCO_3$  – 0,02,  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  – 0,0024 [5].

В качестве исследуемых параметров были выбраны источники углерода и азота. Было проведено сравнение выхода ксантановой камеди с использованием следующих источников углерода: глюкоза, сахароза, мальтоза, фруктоза и меласса с массовой долей сахарозы  $50 \pm 2$  % (Скидельский сахарный комбинат, Республика Беларусь) в рабочих концентрациях (г/л) 10, 20, 30, 40, 50. В качестве варьируемых источников азота были выбраны дрожжевой экстракт,  $NH_4Cl$ ,  $NH_4NO_3$ ,  $(NH_4)_2SO_4$  и мочевины в рабочих концентрациях (г/л) 1, 3, 5, 7, 9, 11.

*Приготовление инокулята.* Для приготовления инокулята была использована питательная среда, заявленная в паспорте культуры, следующего состава (г/л): глюкоза – 20, дрожжевой экстракт – 3,  $KH_2PO_4$  – 2,  $K_2HPO_4$  – 2,  $MgSO_4$  – 0,1. Выбранный режим стерилизации – 121 °С, 30 мин. Инкубация инокулята проводилась в колбах Эрленмейера объемом 750 мл с рабочим объемом 100 мл при температуре 28 °С и с перемешиванием 150 об/мин в течение суток с использованием шейкера-инкубатора Inforce Multitron HT (Швейцария). Оптическая плотность инокулята ( $OD_{600}$ ) перед внесением в колбы для основного культивирования составляла 1,0. Отношение объема, вносимого инокулята к объему питательной среды, составило 1:10.

*Основное культивирование.* Культивирование проводилось в колбах Эрленмейера объемом 750 мл с рабочим объемом 100 мл при температуре 28 °С и с перемешиванием 150 об/мин с использованием шейкера-инкубатора Inforce Multitron HT (Швейцария). Продолжительность культивирования составила 120 часов. По окончании культивирования культуральная жидкость использовалась для выделения ксантана и дальнейшего анализа.

*Метод выделения ксантановой камеди.* Выделение ксантановой камеди осуществлялось методом спиртового осаждения [6]. Культуральную жидкость объемом 50 мл центрифугировали в течение 30 минут при относительной центробежной силе 10000 g. Супернатант отде-

ляли и упаривали с помощью ротационного испарителя (модель IKARV3 есо (Германия) с вакуумным насосом Wiggins C410 (КНР)) до объема 10 мл. Полученный раствор переносили в пластиковые пробирки объемом 50 мл, вносили изопропиловый спирт в объемном соотношении 1:3 и выдерживали при температуре 4 °С на протяжении 24 часов. Полученный осадок центрифугировали в течение 30 мин при относительной центробежной силе 10000 g, сушили до постоянной массы и взвешивали.

*Метод определения концентрации сахаров.* Определение концентрации остаточных сахаров в питательной среде по окончании культивирования проводилось методом ВЭЖХ с использованием хроматографа (модель Agilent 1260 Infinity II, США) с установленной колонкой Hi-PlexCa (Agilent, США),  $300 \times 7,7$  мм, детектор – рефрактометрический. Образцы центрифугировали в течение 5 мин при скорости 15000 g, отбирали 200 мкл супернатанта и добавляли 400 мкл метанола для осаждения белка. После повторного центрифугирования при скорости 15000 g в течение 5 мин отбирали 400 мкг супернатанта и добавляли 800 мкг деионизированной воды [7].

*Метод определения химической структуры ксантановой камеди.* Определение химического состава молекулы ксантановой камеди проводилось на базе Санкт-Петербургского государственного технологического института методом ИК-спектроскопии (ИК-Фурье спектрометр Shimadzu IRTracer 100 (Япония) с соотношением сигнал/шум 60000:1 и спектральным разрешением  $0,25 \text{ см}^{-1}$ ) с диапазоном съемки ИК спектра  $4000\text{--}350 \text{ см}^{-1}$ , разрешением  $4 \text{ см}^{-1}$ , накоплением спектров 32. Подготовка образца проводилась методом прессования таблеток, заключавшегося в перемешивании тонкоизмельченного образца с порошком КВг в соотношении 1:100 с последующим прессованием смеси в пресс-форме под большим давлением (10 тонн/мг) [8].

*Метод определения реологических показателей.* Для определения динамической вязкости образца использовался вискозиметр модели Brookfield LVDV-II+ Pro (США) с U-адаптером для низкой вязкости с рабочей температурой 25 °С в диапазоне скоростей вращения от 0,3 до 7,5 об/мин. Рабочий раствор представлял собой 0,1 % водный раствор ксантановой камеди [9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования были установлены зависимости выхода ксантановой камеди от концентраций источников углерода и азота (рис. 1, рис. 2).

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА БИОСИНТЕЗ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ БАКТЕРИЯМИ ВИДА *Xanthomonas campestris*

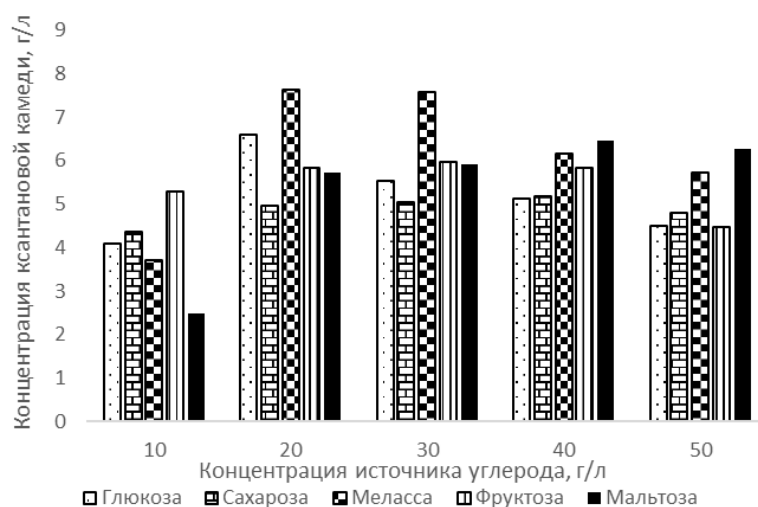


Рисунок 1 – Содержание ксантановой камеди в культуральной жидкости в зависимости от концентрации источника углерода

Figure 1 – The content of xanthan gum in the culture liquid depending on the concentration of the carbon source

При варьировании источника углерода наблюдается тенденция снижения выхода конечного продукта при повышении концентрации сахара (рис. 1). Вероятнее всего, это связано с возникновением гиперосмотического стресса и, как следствие, удлинения процесса адаптации культуры к питательной среде. Кроме того, культивирование на мелассе при концентрациях 20 и 30 г/л сильно превышает показатели остальных источников углерода, в частности, глюкозы (7,62 г/л и 7,56 г/л против 6,6 г/л и 5,52 г/л соответственно). Предположительно, это связано с

присутствием в составе мелассы различных минеральных компонентов, которые при данных концентрациях положительно влияют на действие ферментов и поддержание значений pH раствора. При повышении концентрации наблюдается снижение биоконверсии, так как минеральные компоненты могут угнетать биосинтетическую активность микроорганизмов. В качестве наиболее благоприятного варианта источника углерода была выбрана меласса в концентрации 20 г/л (выход ксантановой камеди – 38,1 %).

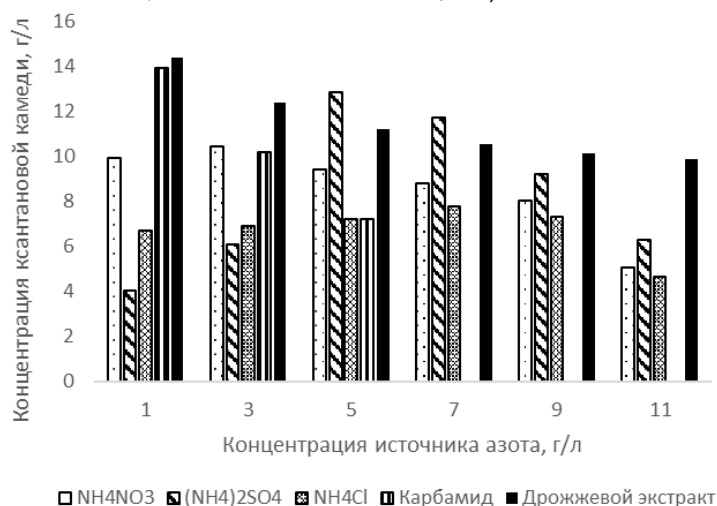


Рисунок 2 – Содержание ксантановой камеди в культуральной жидкости в зависимости от концентрации источника азота

Figure 2 – The content of xanthan gum in the culture liquid depending on the concentration of the nitrogen source

При варьировании источника азота наибольший выход ксантановой камеди (14,41 г/л) наблюдается при использовании

дрожжевого экстракта в концентрации 1 г/л (рис. 2). Однако при повышении концентрации дрожжевого экстракта выход ксантановой



камеди заметно падает. Это можно объяснить смещением тенденции биосинтеза в сторону прироста биомассы вместо вторичных метаболитов. При концентрациях 5 г/л и 7 г/л наибольший выход конечного продукта наблюдается при культивировании на среде с сульфатом аммония (12,87 г/л и 11,73 г/л против 11,23 г/л и 10,57 г/л соответственно). При высоких концентрациях азота показатели, полученные при использовании дрожжевого экстракта, снова становятся больше, чем показатели в опыте с минеральным азотом. Предположительно, 120 часов недостаточно для полного поглощения азота в концентрациях 9 г/л и 11 г/л, поэтому значения выхода ниже, чем для остальных концентраций. В то же время органический азот усваивается быстрее минерального, так как организм не затрачивает энергию на синтез необходимых аминокислот, а усваивает уже готовые, поэтому выход конечного продукта в данном случае выше.

Отдельно стоит отметить зависимость концентрации ксантановой камеди от концентрации мочевины. В концентрации 1 г/л выход конечного продукта сравним с аналогичным показателем дрожжевого экстракта (13,95 г/л и 14,41 г/л соответственно). Однако уже при концентрации 3 г/л конечная концентрация продукта падает практически на 30 % (10,21 г/л). При концентрации мочевины 7 г/л и выше ксантановая камедь в культуральной среде отсутствует,

и роста культуры не наблюдается. Вероятнее всего, это связано с сильными денатурирующими свойствами карбамида, что препятствует работе бактериальных ферментов.

Для дальнейшего эксперимента в качестве источника азота выбран дрожжевой экстракт в концентрации 1 г/л, так как в этом случае достигнутое значение концентрации ксантановой камеди наибольшее (14,41 г/л).

Следующим этапом работы было культивирование с учетом наиболее благоприятных условий, определенных в предыдущих экспериментах. Была использована питательная среда следующего состава: меласса – 40 г/л (содержание сахара – 20 г/л), дрожжевой экстракт – 1 г/л,  $K_2HPO_4$  – 5,0, лимонная кислота – 2,0,  $H_3BO_3$  – 0,006,  $ZnO$  – 0,006,  $CaCO_3$  – 0,02,  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  – 0,0024.

По окончании культивирования из рабочей среды была выделена ксантановая камедь и измерена ее масса. Полученный выход составил 10,6 г/л, что соответствует значению биоконверсии 53 %. Проведенный анализ ВЭЖХ на остаточные сахара в культуральной жидкости позволил определить значение концентрации фруктозы 33 мг/л, что соответствует проценту поглощенного углерода 99,84 %.

Был получен ИК-спектр опытного образца ксантановой камеди (рис. 3). Сравнение проводилось с коммерческим образцом (производитель: Meihua Holding Group Co., Ltd) (рис. 4).

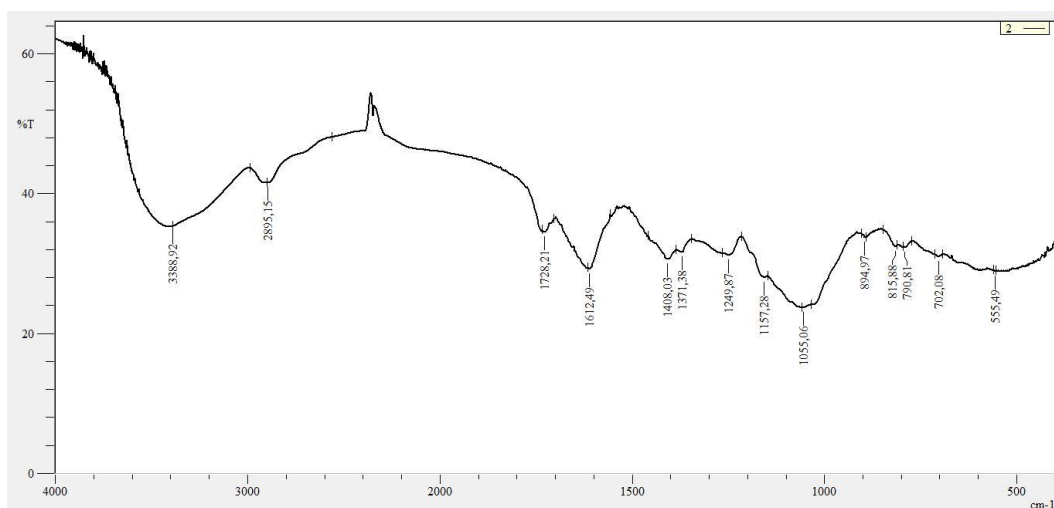


Рисунок 3 – ИК спектр пропускания синтезированного образца ксантановой камеди

Figure 3 – IR transmission spectrum of a synthesized sample of xanthan gum

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА БИОСИНТЕЗ КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ БАКТЕРИЯМИ ВИДА *Xanthomonas campestris*

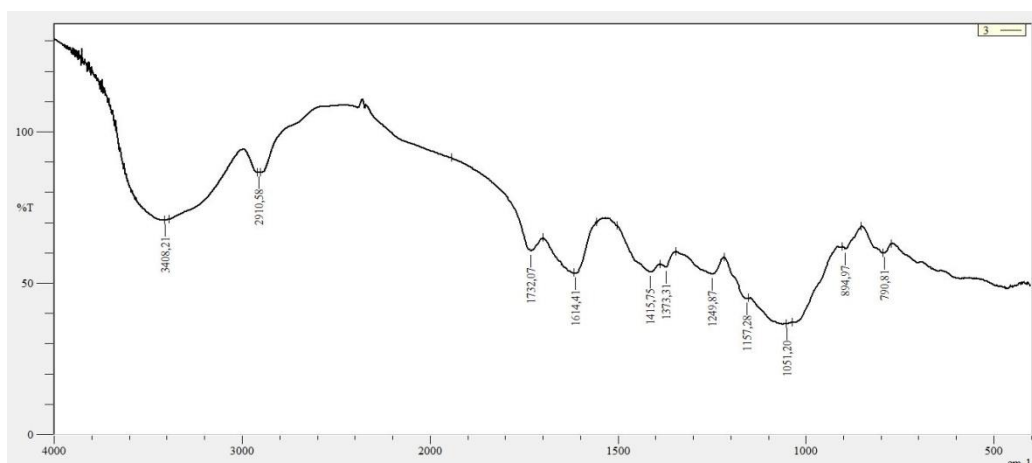


Рисунок 4 – ИК спектр пропускания коммерческого образца ксантановой камеди

Figure 4 – IR transmission spectrum of a commercial sample of xanthan gum

Образцы имеют высокую сходимость с небольшим отличием в интенсивностях и смещениях пиков, которые могут быть связаны с методом съемки. В обоих спектрах присутствуют сигналы на  $3437\text{ см}^{-1}$  и  $2895\text{ см}^{-1}$ , что соответствует валентным колебаниям связей O-H и C-H соответственно. Сигнал на  $1728\text{ см}^{-1}$  указывает на присутствие в структуре вещества групп C=O глюкуроновой и пировиноградной кислот, а сигнал на  $1614\text{ см}^{-1}$  – на присутствие солевых форм ксантановой камеди (функциональные группы  $-\text{COO}^-$ ). Кроме того, сигнал на  $894\text{ см}^{-1}$  свидетельствует о присутствии в структуре полисахарида  $\beta$ -гликозидных связей. Сигнал на  $1415\text{ см}^{-1}$  отображает характеристические деформационные колебания метиленовых групп, сигнал слабой интенсивности на  $1380\text{ см}^{-1}$  – деформационные колебания метильных групп.

Полоса поглощения на  $1249\text{ см}^{-1}$  указывает на ассиметричные валентные колебания связи C-O-C между углеводными остатками и ацетильными группами. Полоса колебания высокой интенсивности при  $1051\text{ см}^{-1}$  указывает на валентные колебания группы C-O.

В ходе исследования был проведен вискозиметрический анализ 0,1 % водного раствора полученной ксантановой камеди. В качестве раствора сравнения использовался 0,1 % водный раствор коммерческой ксантановой камеди (производитель: Meihua Holding Group Co., Ltd). Построена зависимость динамической вязкости от скорости вращения ротора (рис. 5). Тенденция снижения вязкости с увеличением скорости вращения позволяет сделать вывод о псевдопластичном характере жидкости, что подтверждается литературными источниками [10].

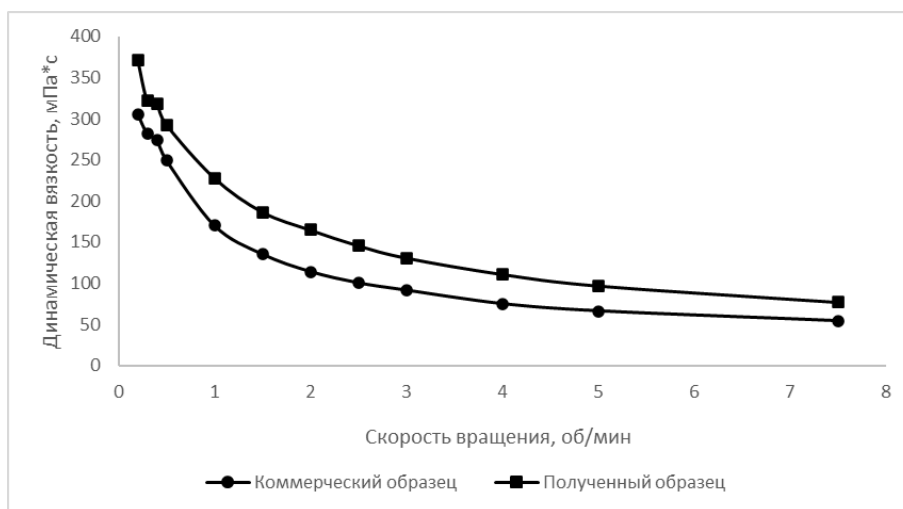


Рисунок 5 – Зависимость динамической вязкости 0,1 % водного раствора ксантановой камеди от скорости вращения ротора

Figure 5 – Dependence of the dynamic viscosity of 0.1% aqueous solution of xanthan ka-copper on the rotation speed of the rotor

Полученные в ходе ИК-спектроскопии и вискозиметрии результаты позволяют сделать

вывод о соответствии коммерческому образцу функционального состава и вязкости, по-

лученной ксантановой камеди, синтезированной на среде с мелассой и дрожжевым экстрактом в концентрациях 20 г/л и 1 г/л соответственно.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования была показана возможность использования альтернативных источников азота и углерода для производства ксантановой камеди. Конечная концентрация экзополисахарида составила 10,6 г/л, процент биоконверсии составил 53 % к углеродному субстрату. Меласса в качестве источника углерода позволяет снизить затраты на более дорогие классические источники углерода, такие как глюкоза и сахароза, а дрожжевой экстракт позволяет значительно повысить выход экзополисахарида при меньшей концентрации по сравнению с минеральными источниками азота.

### REFERENCES / СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Petri, D.F. (2015). Xanthan gum: A versatile biopolymer for biomedical and technological applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(23).
- Tang, J. [et al.]. (2021). *Xanthomonas campestris* pathogens. *Trends in Microbiology*. Т. 29. № 2. С. 182-183.
- An, S.Q., Potnis, N., Dow, M., Vorhölter, F.J., He, Y.Q., Becker, A. & Tang, J.L. (2020). Mechanistic insights into host adaptation, virulence and epidemiology of the phytopathogen *Xanthomonas*. *FEMS microbiology reviews*, 44(1), 1-32.
- Crossman, L. & Dow, J.M. (2004). Biofilm formation and dispersal in *Xanthomonas campestris*. *Microbes and infection*, 6(6), 623-629.
- Khisametdinov, M.R., Gamayurova, V.S., Sagdeeva, R.R., Krynytskaya, A.Yu., Astrakhantseva, M.N., & Sukhanov, P.P. (2009). Influence of nutrient medium composition on the growth of *Xanthomonas campestris* culture and synthesis of xanthan exopolysaccharide. *Bulletin of Kazan Technological University*, (2), 104-110.
- Demirci, A.S., Palabiyik, I., Apaydin, D., Mirik, M. & Gumus, T. (2019). Xanthan gum biosynthesis using *Xanthomonas* isolates from waste bread: Process optimization and fermentation kinetics. *Lwt*, 101, 40-47.
- Ball, S.; Lloyd, L. (2016). Agilent Hi-Plex Columns for Carbohydrates, Alcohols, and Acids. Available online: <http://www.agilent.com/cs/library/applications/5990--8264EN.pdf> (accessed on 7 March 2016).
- Wang, L., Xiang, D., Li, C., Zhang, W. & Bai, X. (2022). Effects of deacetylation on properties and conformation of xanthan gum. *Journal of Molecular Liquids*, 345, 117009.
- Salehi, F., Inanloodoghuz, M. (2024). Effects of ultrasonic intensity and time on rheological proper-

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

*Статья поступила в редакцию 18 января 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 18 Jan 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*

ties of different concentrations of xanthan gum solution // *International Journal of Biological Macromolecules*. S. 130456.

10. Sworn, G. Xanthan gum (2021). *Handbook of hydrocolloids*. Woodhead Publishing. 833-853.130456.

### Информация об авторах

*Р. Е. Моисеев – студент бакалавриата факультета биотехнологий НИУ ИТМО, лаборант-исследователь ВНИИПД – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.*

*Н. Ю. Шарова – доктор технических наук, профессор РАН, доцент факультета биотехнологий НИУ ИТМО, заместитель директора по научной работе ВНИИПД – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.*

*А. П. Непомнящий – аспирант ФГБНУ «ВНИИМП им. В.М. Горбатова», младший научный сотрудник ВНИИПД – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.*

*В. Э. Путилов – студент бакалавриата факультета биотехнологий НИУ ИТМО, лаборант-исследователь ВНИИПД – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.*

*О. В. Астафьева – кандидат биологических наук, научный сотрудник ВНИИПД – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.*

### Information about the authors

*R.E. Moiseev - Bachelor Student of the Faculty of Biotechnology ITMO University, Research Laboratory Assistant at the All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.*

*N.Yu. Sharova - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Associate Professor at the Faculty of Biotechnology of ITMO University, Deputy Director for Research at the All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.*

*A.P. Nepomnyashchy - Postgraduate Student of The V.M. Gorbатов All-Russian Meat Research Institute, a junior researcher at the All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.*

*V.E. Putilov - Bachelor Student of the Faculty of Biotechnology ITMO University, Research Laboratory Assistant at the All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.*

*O.V. Astafieva - Candidate of Biological Sciences, researcher at the All-Russia Research Institute for Food Additives - Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.*



Обзорная статья  
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)  
УДК 664.7:62-98

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.021



## ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА ГРЕЧИХИ. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ И НУТРИЦЕВТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯДРА. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУЗГИ

Дмитрий Викторович Чащилов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем химико-энергетических технологий» Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), Бийск, Россия  
dmitry.chashchilov@mail.ru

**Аннотация.** При получении гречневой крупы и гречневой муки используют гидротермическую обработку. При этом проводят влаготепловую обработку – пропаривание и сушку или увлажнение с отволаживанием. При увлажнении с отволаживанием полнее сохраняется белковый состав зерна, проще реализуется технологический процесс. Пропаривание и сушка позволяют обеспечить технологические свойства гречневого зерна – прочность и упругость ядра при шелушении. Различными режимами пропаривания регулируются и потребительские и нутрицевтические свойства будущего продукта: цветность, хранимость, усваиваемость и питательная ценность. При пропаривании используют различные теплоносители – насыщенный или перегретый водяной пар, горячий воздух. Некондиционное гречневое сырье – сырое, сухое, перезимовавшее под снегом, также может быть переработано в кондиционный продукт модифицированными способами гидротермической обработки. Режимы обработки – длительность экспозиции и температура – варьируются в зависимости от назначения конечной продукции – товарная гречневая крупа, гречневая мука. Гречневое зерно обладает нутрицевтическим потенциалом использования в качестве функционального продукта, обладая антиоксидантными свойствами, что может быть обеспечено специфическими режимами гидротермической обработки. Представлены возможности использования гречневой лузги, типичного отхода переработки зерна гречихи.

**Ключевые слова:** влаготепловая обработка, пропаривание, увлажнение, отволаживание, режим обработки, гречневая крупа, гречневая мука, гречневая лузга, температура.

**Благодарности:** Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ для ИПХЭТ СО РАН, № государственной регистрации 124021200031-4.

Автор выражает благодарность за ценные советы Марьину В.А., к.т.н., главному технологу ООО «Алтай», Верещагину А.Л., д.х.н., профессору, заведующему кафедрой общей химии и экспертизы товаров Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова»; а также за техническую помощь при проведении исследований, Пляко И.В., директору ООО «Курай Агро плюс», и Смирнову Н.С., технологу ООО «Курай Агро плюс».

**Для цитирования:** Чащилов Д. В. Гидротермическая обработка зерна гречихи. Формирование технологических, потребительских и нутрицевтических свойств ядра. Возможности использования лузги // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 139–148. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.021, EDN: <https://elibrary.ru/XEFPIM>.

Original article

## HYDROTHERMAL TREATMENT OF BUCKWHEAT GRAIN. FORMATION OF TECHNOLOGICAL, CONSUMER AND NUTRICEUTICAL PROPERTIES OF CORE. POSSIBILITY OF USING HUSKS

Dmitry V. Chashchilov

Federal State Budgetary Institution of Science "Institute of Problems of Chemical and Energy Technologies" of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPHET SB RAS), Biysk, Russia  
dmitry.chashchilov@mail.ru

**Abstract.** When producing buckwheat and buckwheat flour, hydrothermal treatment is used. For this, heat moisture treatment is used - steaming and drying or moistening with dampening. When moistened with dampening, the protein composition of the grain is more fully preserved, and the technological process is easier to implement. Steaming and drying allows you to ensure the technological properties of buckwheat grain - the strength and elasticity of the kernel during peeling. Various steaming modes regulate the consumer and nutraceutical properties of the future product - color, storage, digestibility, nutri-

tional value. When steaming, various coolants are used - saturated or superheated water vapor, hot air. Substandard buckwheat raw materials - raw, dry, overwintered under snow, can also be processed into a standard product using modified methods of hydrothermal treatment. Processing modes - exposure duration and temperature - vary depending on the purpose of the final product - commercial buckwheat cereals, buckwheat flour. Buckwheat cereals has nutraceutical potential for use as a functional product, possessing antioxidant properties, which can be provided by specific regimes of hydrothermal treatment. The possibilities of using buckwheat hulls, a typical waste product from buckwheat cereals processing, are presented.

**Keywords:** heat moisture treatment, steaming, humidification, dampening, processing mode, buckwheat cereals, buckwheat flour, buckwheat hulls, temperature.

**Acknowledgements:** The research was carried out within the framework of the state task on of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the Institute of Problems of Chemical and Energy Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, state registration number 124021200031-4.

The author expresses gratitude to the distinguished colleagues who gave valuable recommendations and suggestions that made it possible to significantly improve the manuscript of this article - V.A. Maryin, PhD, technologist LLC "Altai"; A.L. Vereshchagin, PhD, Professor, Head of the Department of General Chemistry and Examination of Goods of the Bysk Institute of Technology (branch) of the Federal State Budgetary educational institution of Higher Education "Polzunov Altai State Technical University"; I.V. Plyako, Director of Kurai Agro Plus LLC; N.S. Smirnov, technologist of Kurai Agro Plus LLC.

**For citation:** Chashchilov, D.V. (2024). Hydrothermal treatment of buckwheat grain. Formation of technological, consumer and nutraceutical properties of core. Possibility of using husks. Polzunovskiy vestnik. (4), 139-148. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.021, EDN: <https://elibrary.ru/XEFPIM>.

## ВВЕДЕНИЕ

Гречиха – одна из основных крупяных культур. В 2023 году валовой сбор гречихи в России составил 1484,9 тыс. т [1], это высшее значение за весь постсоветский период. Алтайский край – один из лидеров по производству гречихи, валовой сбор после доработки составил 840,1 тыс.т, т.е. 56,5 % от общероссийского урожая.

Мировой урожай гречихи, по данным FAO, в 2022 году составил 2236,5 тыс. т [2], в России в том же году – 1222,4 тыс.т. Россия является многолетним мировым лидером по урожаю гречихи [3]. Доля страны в мировом производстве составляет порядка 56,7 % (данные за 2022 год). Таким образом, можно считать, что почти треть всего мирового производства зерна гречихи сосредоточена в Алтайском крае.

Гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum Moench*) относится к группе псевдозерновых культур, как амарант или киноа [4]. На Алтае гречиха является ведущей крупяной культурой [4]. Однако, например, в Китае, Индии также выращивается и используется татарская гречиха (*Fagopyrum tataricum Gaertn.*) [5].

В последнее время активизировался интерес исследователей, особенно зарубежных, к использованию зёрен псевдозлаков, в т.ч. и гречихи для получения функциональных продуктов питания. В гречневом зерне нет глютенa [6], что обуславливает его специфические диетические свойства. В зерне гречихи тоже есть антиоксиданты [7]. Также заслуживают внимания исследователей флавоноиды, фенольные кислоты, пищевые волокна, ненасыщенные жирные кислоты и т.п., содержащиеся в зернах псевдозлаков [3, 8].

Специфической особенностью зерен гречихи является высокое содержание рутина – витамина Р. Особенно оно высоко в зернах одного из подвидов – гречихи татарской [5]. Однако в сельском хозяйстве России наиболее распространена именно гречиха посевная, поэтому акцент в настоящем исследовании сделан именно на зернах гречихи посевной.

Активно ведётся изучение свойств гречевого крахмала. Исследуются свойства крахмала и его поведение при различной обработке [9]. Крахмал является одним из компонентов комплексных пищевых продуктов. Свойства крахмала позволяют обеспечи-

вать требуемые физико-механические свойства составных пищевых продуктов. Частичная модификация крахмала происходит ещё при гидротермической обработке гречевого зерна, если таковая производится, что несколько ограничивает возможности использования гречевого крахмала.

Особенность переработки гречевого зерна связана с гидротермическим воздействием, в первую очередь, для технологической цели – улучшения качества шелушения зерна [10]. При этом происходит изменение биохимического и химического состава зерна, что влияет на его питательные свойства. Режимы гидротермической обработки по условиям проведения могут быть как щадящими, так и весьма жёсткими. Есть несколько вариантов гидротермической обработки. Наряду с классической гидротермической обработкой методом пропаривания проводятся исследования и альтернативных способов, имеющих ряд преимуществ.

При переработке зерна гречихи в России в последнее время сильно ухудшилось качество отдельных партий исходного сырья [11]. В основном, это может быть связано с изменением климата – осадки нарушают привычный график уборки урожая фермерами и сельскохозяйственными предприятиями. Зерно после уборки урожая иногда не проходит своевременную послеуборочную обработку (очистку, сушку), в ряде случаев хранится в ненадлежащих условиях (под снегом).

В связи с этим возросла доля сырого и влажного зерна, поступающего на переработку. В такой зерновой массе встречается проросшее зерно. В этом случае обычные режимы гидротермической обработки [10] снижают качество крупы, растёт доля отходов, повышается себестоимость переработки. Для переработки такого зерна в крупу требуется изменение обычных режимов переработки.

При переработке зерна гречихи обычно выпускается гречневая крупа различных сортов. На рынке востребована как обычная пропаренная гречневая крупа, так и непропаренная крупа – так называемая «зелёная» гречка [12]. Ряд потребителей зерна интересуется крупа определённой цветовой окраски. Цвет крупы, в основном, регулируется режимом гидротермической обработки. Также находит применение и гречневая мука из цельного или шелушённого зерна – для выпечки хлебобулочных изделий, производства макаронных изделий и т.п.

Переработка зерна гречихи и производство крупы и муки являются энергоёмкими процессами. Основ-



# ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА ГРЕЧИХИ. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ И НУТРИЦЕВТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯДРА. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУЗГИ

ные затраты энергии связаны как раз с гидротермической обработкой – пропариванием и сушкой зерна. Снижение энергетических затрат при обработке зерна гречихи – актуальная задача совершенствования технологий и оборудования крупяного производства. Это требует специфических требований к технологическому оборудованию для гидротермической обработки [13] и различных конструкций генераторов пара.

В зерне присутствуют и могут образовываться или выделяться при технологической переработке компоненты, затрудняющие усвоение белка, таким образом, проявляются антинутриционные факторы [14]. Учёт этого обстоятельства важен при производстве функциональных продуктов на основе ядра или зерна гречихи, а также продуктов на основе их переработки.

Гречневая лузга является типичным отходом при переработке гречневого зерна. Как правило, лузга выделяется на крупозаводах в больших количествах. Представляют интерес варианты использования лузги в качестве вторичного сырья.

Разнообразие описанных обстоятельств обуславливает важность процесса гидротермической обработки как для технологического процесса переработки гречневого зерна, так и для формирования потребительских качеств продуктов на его основе. Значимость данного исследования заключается в обобщении частных случаев практики. Представляется влияние основных факторов гидротермической обработки на свойства обработанного зерна гречихи. В зависимости от предполагаемой области применения продуктов переработки гречихи могут быть целесообразны те или иные условия гидротермической обработки гречневого зерна, что представляет несомненный практический интерес.

Несмотря на большой накопленный массив исследований по гидротермической обработке зерна гречихи, в последние годы нет каких-либо опубликованных работ, аналогичных данному исследованию. Имеются обзоры по влаготепловой обработке различных крахмалов, в т.ч. по гречневому крахмалу [15, 16]. Также имеются обзоры по гречневому ядру, как пищевому продукту в целом [17, 18]. Но вопросы гидротермической обработки гречневого зерна в этих работах освещаются очень слабо.

Также в опубликованных работах практикуются различные подходы, основанные, как правило, на эмпирических исследованиях. Как правило, исследования зарубежных и большинства отечественных авторов выполнены с применением аппаратов и стендов лабораторного масштаба. Особенно выделяются на этом общем фоне ряд работ В.А Марына, которые проведены с использованием промышленного оборудования на действующем производстве гречневой крупы.

Можно отметить, что гидротермическая обработка может быть реализована следующими методами – пропариванием или увлажнением с последующим отволаживанием и дальнейшей сушкой. Формально процессы сушки зерна, находящегося во влажном состоянии, также являются отдельными этапами гидротермической обработки. Вариантом гидротермической обработки является обжарка зерна на греющих поверхностях или посредством излучения. В настоящем исследовании акцент сделан на гидротермической обработке методом пропаривания для зерен посевной гречихи.

Цель данного исследования – обобщить сведения о гидротермической обработке зерна гречихи. Задачи настоящего исследования:

- описать взаимодействие водной влаги с компонентами зерна гречихи;

- показать влияние условий гидротермической обработки на технологические и физико-механические свойства зерна гречихи;

- отразить формирование потребительских и нутрицевтических качеств гречневой крупы в зависимости от режимов гидротермической обработки;

- отметить изменение свойств шелухи гречихи при гидротермической обработке;

- обобщить тенденции совершенствования процесса гидротермической обработки зерна гречихи;

- сформулировать возможные темы для перспективных исследований гидротермической обработки зерна гречихи;

- представить перспективные области использования гречневой лузги.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### Морфология и состав зерна гречихи

Зерно гречихи имеет форму трёхгранного орешка и состоит из ядра и плодовой оболочки. Ядро зерна гречихи часто представляют в качестве трёхгранной пирамиды [15]. Ядро состоит из зародыша и эндосперма и покрыто защитной семенной оболочкой. Зародыш имеет S-образную форму и является зачатком будущего растения. Эндосперм состоит из различных по размеру крахмальных зёрен, расположенных в белковой матрице, являясь природным композиционным материалом. Эта часть ядра снаружи покрыта алейроновым слоём – несколькими слоями уплотнённых зёрен крахмала. Эндосперм является хранилищем запаса питательных веществ, необходимых для роста, и содержит также ферменты, предназначенные для перевода запаса питательных веществ в потребную для роста форму [3].

Плодовая оболочка состоит из трёх лепестковчешуек, сомкнутых по боковым кромкам и в вершинах и покрывающих ядро. Каждая из граней плодовой оболочки – это тонкая пространственная изогнутая пластинка. Практически плодовая оболочка выполняет функции естественной природной упаковки ядра зерна гречихи. Она защищает ядро от механических повреждений, воздействия влаги, микробиологического поражения, насекомых и т.п. Обычно плодовая оболочка имеет коричневый цвет, различных оттенков – от светло-коричневого до почти черного. После отделения от ядра (при шелушении зерна) обычно образуются как одиночные пластинки, так и соединенные попарно. В ряде случаев, например, при получении муки из цельного зерна, оболочка не отделяется от ядра, а размалывается вместе с ядром [20].

Толща пластинок плодовой оболочки – капиллярно-пористая. Это весьма существенное обстоятельство при гидротермической обработке, поскольку при воздействии водяного пара или жидкой воды влага быстро проходит через толщу плодовой оболочки к ядру зерна [21]. При сушке, наоборот, влага движется, от ядра к внешней поверхности оболочки. Плодовая оболочка в таких условиях сравнительно быстро высыхает.

Ядро гречихи содержит белок – от 5,7 до 14,2 %, здесь и далее – масс. % на абсолютно сухой вес (а.с.в.), углеводы – от 63,1 до 82,1 %, в т.ч. крахмал – от 54,5 до 57,4 %, жиры – от 3,2 до 4,0 %, общее содержание пищевых волокон – 17,8 %.

Содержание рутина – 4058 ± 107 мкг/г а.с.в., кемпферо-3-О-рутинозид – 1852 ± 54,3 мкг/г а.с.в., кверцетин – 312 ± 3.69 мкг/г а.с.в. Плодовые оболочки также содержат белок – от 4,2 до 5,6 %, углеводы – от 21,2 до

31,2 %, жиры – от 1,0 до 1,3 % [22]. Диапазоны содержания компонентов в химическом составе объясняются различными сортами гречихи, а также различными условиями выращивания.

Таким образом, зерно гречихи включает в себя ядро и плодовую оболочку. Ядро содержит ряд ценных питательных компонентов, также ряд других элементов – микронутриентов, в т.ч. и с высокой антиоксидантной активностью. Подовая оболочка выполняет защитную функцию для ядра зерна. Продукты из ядра гречихи обладают широким комплексом функционального оздоровительного воздействия на организм человека.

### **Воздействие воды и тепла на зерно гречихи**

Вид и глубина воздействия воды на компоненты зерна гречихи зависит от влажности зерна, величины температуры и длительности экспозиции. При комбинированном воздействии влаги и тепла имеет место влаготепловая или гидротермическая обработка.

Ядро зерна гречихи является капиллярно-пористым телом [19]. Равновесная влажность при комнатной температуре и нормальной влажности воздуха составляет около 13,5 %, что достаточно для длительного хранения, без признаков микробиологической порчи и без прорастания зародыша. С увеличением влажности вода с поверхности ядра проникает внутрь ядра. Происходит значительное набухание белков (вплоть до 250 %) и крахмала (до 30 %) [24]. Изначально рыхлая структура эндосперма уплотняется. Происходит увеличение размера ядра.

Также изменяются структурно-механические свойства ядра зерна. При увеличении влажности зерна гречихи понижается модуль упругости и снижается прочность [25]. Длительное воздействие влаги при определённом диапазоне температур и доступа воздуха активирует ферменты [23] и создаёт условия для усиления дыхания зерна и прорастания ростка из зародыша.

При воздействии тепла происходит изменение состава основных компонентов ядра зерна [26]. Происходит денатурация белков [27, 28], при температурах выше 45...60 °С. Изменяется аминокислотный состав и фракционный состав белков ядра [29]. Происходит частичная деградация флавоноидов [30].

При совместном воздействии влаги и тепла, характерном именно для гидротермической обработки, картина изменений усиливается. Протекает гидролиз крахмала и жиров [31]. Крахмал, предварительно вобравший водную влагу, клейстеризуется, при температуре не ниже температуры желатинизации. Температура желатинизации нативного гречневого крахмала составляет от 55 до 60 °С. При увеличении длительности гидротермической обработки температура желатинизации повышается [32]. При этом происходит разрушение структуры крахмальных зёрен. Снижается кристалличность гречневого крахмала [9]. Происходит также образование декстринов. Продукты клейстеризации и декстринизации, расширяясь, заполняют собой микротрещины, поры и пустоты в ядре зерна. Благодаря этому ядро становится более однородным, плотным, а также значительно упрочняется.

При гидротермическом воздействии цельного, нешелушенного зерна происходит миграция части водорастворимых компонентов из плодовой оболочки в поверхностные слои ядра. При обработке паром изменяется минеральный состав и ядра, и плодовой оболочки [29, 33]. Этим частично объясняется потем-

нение поверхности ядра из-за притока в него тёмноокрашенных пигментов [34].

При гидротермической обработке в гречневом ядре вследствие гидролиза полифенолов происходит выделение фенольных кислот [35, 36], увеличивается антиоксидантная активность [37, 38]. Это может быть обусловлено частичным разрушением клеточных стенок при обработке и последующим высвобождением и гидролизом полифенолов [39]. Также в ядре повышается общее содержание пищевых волокон [40].

Однако нужно отметить и негативный фактор – при гидротермической обработке происходит выделение фитина и дубильных соединений. Эти компоненты затрудняют переваривание пищи, проявляя антипитательное действие [17].

Действие влаги, таким образом, приводит к обратимому набуханию ядра. Тепловое воздействие выше 60 °С вызывает необратимые изменения, в частности, денатурацию белков, декстринизацию крахмала. Совместное воздействие влаги и тепла при гидротермической обработке приводит к желатинизации крахмала, частичному гидролизу жиров и углеводов. Механические свойства ядра значительно изменяются. Также усиливается выделение полифенолов, с ростом антиоксидантной активности, образуется ряд антипитательных элементов.

### **Задачи гидротермической обработки**

Основные задачи гидротермической обработки определяются группами свойств продуктов или полупродуктов, формируемыми на этой стадии обработки. В частности, можно условно выделить группы технологических, потребительских и нутрицевтических свойств.

Технологические свойства пропаренного гречневого зерна обуславливают пригодность к последующей технологической обработке с минимальными потерями. Потребительские свойства формируют удобство потребителя при использовании, например, при хранении продукта или при приготовлении из него различных блюд. Нутрицевтические свойства обеспечивают улучшение усваиваемости питательных веществ, содержащихся в продукте или образующихся в нем при приготовлении блюд. Сопоставление групп свойств продуктов и задач гидротермической обработки представлено в таблице 1.

Одно из основных назначений гидротермической обработки – подготовка зерна к последующему шелушению – снятию плодовой оболочки. Как было выше отмечено, исходное ядро гречневого зерна при нормальной влажности является хрупким и может легко раскалываться. При гидротермической обработке зерна и достижении определённой степени влажности ядро упрочняется, вследствие протекающих в нём процессов, описанных выше, происходит пластификация ядра [41].

При последующей сушке влага испаряется, в первую очередь, из тонкой плодовой оболочки, быстро пропускающей влагу [21]. Из ядра удаление влаги замедляется вследствие малой скорости процесса диффузии. Вследствие сравнительно малого времени сушки плодовая оболочка оказывается сухой и хрупкой, а ядро – упругим и вязким, с определённым уровнем влажности. Для повышения жёсткости подсушенной оболочки зерно охлаждается.

При последующем шелушении оболочка легко скалывается с ядра. Само ядро при этом практически не повреждается, при правильном подборе размеров



## ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА ГРЕЧИХИ. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ И НУТРИЦЕВИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯДРА. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУЗГИ

зерна и зазора рабочих органов шелушителя. Поэтому при гидротермической обработке зерна гречихи так необходимо достичь требуемые механические характеристики частей зерна – плодовой оболочки и ядра.

Таблица 1 – Соответствие задач гидротермической обработки и групп свойств продуктов из зерна гречихи

Table 1 – Correspondence of hydrothermal treatment tasks and groups of properties of buckwheat grain products

Задачи	Группы свойств		
	технологические	потребительские	нутрицевические
Обеспечение требуемой прочности и упругости ядра и оболочки	+		
Формирование цветовой окраски ядра		+	
Инактивация ферментов и зародыша ядра		+	
Обеззараживание зерна		+	
Ускорение процесса кулинарной обработки продукта		+	
Повышение питательной ценности ядра			+

При получении муки желательнее обеспечить хорошую размалываемость ядра или исходного зерна в целом (при получении цельномолотой муки). Данные характеристики также могут быть обеспечены гидротермической обработкой. При необходимости может быть реализован ступенчатый помол с получением различных продуктов размола и разного состава [17]. Гидротермическая обработка размягчает и частично разрушает клеточную стенку в ядре и плодовой оболочке зерна гречихи, как это было описано выше, и при дальнейшем внешнем механическом воздействии это облегчает размол [42]. При этом в ядре высвобождается больше крахмальных гранул, средний размер частиц муки снижается, что положительно сказывается на качестве такой муки.

Другая возможная задача гидротермической обработки – придание желаемого цвета ядру гречихи. Как было отмечено выше, при тепловом воздействии вследствие диффузии пигментов из плодовой оболочки в ядро происходит изменение окраски поверхности и толщи ядра. Потемнение (покоричневение) ядра также может быть обусловлено взаимодействием сахаров и белков при высокой температуре – реакцией Майяра. Продукты этой реакции также формируют характерный «поджаренный» вкус и аромат ядра гречихи. Цвет и запах могут быть целенаправленно сформированы варьированием режимов гидротермической обработки [43, 44].

Варьирование режимов гидротермической обработки – температуры и длительности экспозиции – позволяют обеспечить формирование того или иного цветового оттенка. Цвет может быть от светло-жёлтого до тёмно-коричневого [44, 45]. Как правило, более темный цвет соответствует большей длительности гидротермической обработки или воздействию более высокого давления пара или сочетанию этих двух факторов. Цвет ядра является дополнительным маркетинговым инструментом, позволяя позиционировать товарный продукт – гречневую крупу или продукты не ее основе на рынке. Также у потребителя есть возможность выбрать продукт того или иного цветового оттенка.

При гидротермической обработке в зерне гречихи

происходит ряд биохимических изменений. Происходит инактивация ферментов – липазы, липоксигеназы, амилазы. Необратимо теряет способность к прорастанию зародыш. Ядро, прошедшее гидротермическую обработку и имеющее определённую влажность, лучше хранится [46]. Таким образом, гидротермическая обработка направлена на подготовку будущего пищевого продукта к последующему хранению, а также на увеличение сроков его свежести и годности [47].

На поверхности зерна присутствуют споры естественной микрофлоры. При чрезмерном увлажнении на поверхности зерна гречихи могут развиваться плесневые грибы [11]. Как следствие, ядро может иметь, в определённых случаях, локальные очаги микробиологического поражения. В частности, анализ выявляет афлатоксин В1 и микотоксин Т2 [36].

При гидротермической обработке вследствие действия высокой температуры, повышенного давления и определённой длительности обработки происходит гибель вегетативной формы микрофлоры (и, возможно, частично – спор) [48]. Таким образом, происходит обеззараживание зерна, что также способствует обеспечению сохранности, пищевой безопасности и качества ядра зерна гречихи при хранении.

При гидротермической обработке происходят изменения питательных компонентов ядра [31]. Ряд аналогичных изменений имеют место при кулинарной обработке готового продукта из гречневого зерна – гречневой крупы. Обработанное паром ядро быстрее разваривается. Таким образом, можно гидротермическую обработку считать частью кулинарной обработки пищевого продукта – её первым этапом.

Крупа из расколотых при шелушении пропаренных зерен гречихи – продел – является продуктом быстрого приготовления. Обнаженные внутренние структуры ядра быстрее взаимодействуют с водой при варке в условиях потребителя, и поэтому продукт быстро готовится.

Плющение пропаренного ядра позволяет получить гречневые хлопья. Баротермическая обработка позволяет получить вспученные ядра гречихи. Высокотемпературная микронизация действует аналогично. Таким образом, могут быть получены различные виды быстрорастворивающихся гречневых круп [49].

В целом, после гидротермической обработки улучшается усваиваемость пищевых компонентов, в частности, благодаря лучшей сорбции пищевой желчных кислот [50]. При влаготепловой обработке понижается гликемический индекс гречневого крахмала [51]. Повышается доступность биофлавоноидов, растёт антиоксидантная активность продукта. Именно высокая антиоксидантная активность является одним из основных достоинств пропаренного гречневого зерна.

С точки зрения воздействия на здоровье человека отмечаются следующие виды воздействия продуктов из ядра гречихи на здоровье человека: этогипохолестериническое, гипоглюкемическое, противовоспалительное, нейропротекторное, противораковое, антиоксидантное, гепатопротекторное, антибактериальное, противогрибковое, антивирусное. Проявляются и противовоспалительное, иммунорегуляторное, антидиабетическое, кардиопротекторное, антивозрастное, антитромбическое, противовоспалительное воздействия. Также наблюдается действие продукта против усталости [3].

Важность гидротермической обработки состоит в том, что такая обработка позволяет сформировать технологические свойства ядра зерна – прочность и упругость. Эти свойства необходимы для эффективного шелушения и обеспечения высокого выхода

цельного ядра. Также именно гидротермическая обработка позволяет сформировать и ряд потребительских свойств ядра зерна. К этим свойствам ядра относятся окраска, конечная влажность, микробиологическая стерильность. Гидротермическая обработка также позволяет получить продукты быстрого приготовления на основе ядра зерна гречихи. Нутрицевтические свойства ядра, такие как усвояемость питательных компонентов, действие биологически активных компонентов, антиоксидантная активность, также повышаются при гидротермической обработке.

### **Способы подвода тепла и воды к зерну гречихи, виды теплоносителей**

К факторам гидротермической обработки, влияющим на технологические, потребительские и нутрицевтические свойства ядра зерна, относятся температура зерна, влажность зерна в целом и отдельных частей зерна (при неравномерном увлажнении), длительность экспозиции, энергия, подводимая к поверхности зерна, размер зерна.

Гидротермическая обработка зерна гречихи, как было сказано выше, проводится, в основном, по одной из двух схем. По первой схеме зерно пропаривают, сушат и охлаждают [10]. По второй схеме проводят предварительное увлажнение зерна с последующим отволаживанием. При нем происходит перераспределение влаги по толще ядра зерна [52]. Далее следует сушка. То есть эти схемы отличаются тем, что в первом случае влага и тепло подводятся одновременно, а во втором – вначале подводится влага, которая равномерно распределяется в толще зерна, а тепло подводится значительно позже – при сушке.

Как было сказано выше, при сушке преимущественно удаляется влага из оболочки, что делает последнюю хрупкой и облегчает последующее шелушение зерна. При повышенной влажности шелушение зерна затруднено. Низкая влажность обуславливает высокую хрупкость и дробимость зерна при шелушении.

Подвод тепла к зерну гречихи при гидротермической обработке может быть конвективным, кондуктивным или посредством излучения. При конвективном способе подачи тепла важную роль играет теплоноситель. Варианты используемого теплоносителя – горячий воздух, водяной пар, горячая вода.

Водяной пар, в свою очередь, может быть насыщенным или перегретым [41]. Различные режимы гидротермической обработки отличаются давлением пара – от атмосферного давления или близкого к нему, до 0,6 МПа. В ряде случаев в роли теплоносителя выступает парогазовая смесь, в т.ч. продукты сгорания топлива. Для сушки, как этапа гидротермической обработки, типичным теплоносителем является горячий воздух.

При контакте водяного пара с неподвижной зерновой массой, менее нагретой, чем пар, происходит интенсивная конденсация пара, в области точки росы [53]. Когда зерно или зерновая масса нагреется до точки росы, то интенсивность конденсации пара будет лимитироваться скоростью диффузионного процесса переноса влаги внутри зерна [54]. Поэтому по мере прогрева зёрен интенсивность конденсации пара падает. Основное такое поведение является описанный выше двухступенчатый механизм взаимодействия зерна гречихи и водяного пара [55].

Наличие воздуха в паровой среде пропаривателя обусловлено, во-первых, наличием воздуха в межзерновом пространстве, вследствие скважности зерновой массы. Во-вторых, воздух вытесняется из пространства под плодовой оболочкой. В-третьих, воздух десорбируется из пор и пустот ядра прогреваемого зерна. Поэтому

наличие воздуха (неконденсирующейся фазы) в греющем паре, внутри пропаривателя, вполне обоснованно. Как следствие, в присутствии воздуха в паре имеет место уменьшение интенсивности конденсации пара и снижение коэффициента теплопередачи в целом [56].

Другой вариант – передача тепла при движении зерновой массы. Такой способ реализуется, например, при сушке зерна в зерносушилке. Движущийся нисходящий зерновой поток перекрёстно продувается потоком сушильного агента – горячего воздуха, топочных газов или их смеси. При этом происходит равномерное распределение газа по всему объёму зерновой массы [57]. Известно использование в качестве теплового агента парогазовой смеси – смеси пара и воздуха при атмосферном давлении. Это же явление происходит при обработке зерна в непрерывно действующем пропаривателе [58].

В ряде случаев обработку зерна гречихи проводят перегретым паром [59]. При контакте с зерновой массой происходит охлаждение перегретого пара, не ниже температуры насыщения, вернее, не ниже точки росы при данной температуре зерна. В противном случае будет происходить обратный сушке процесс – увлажнение зерна.

Горячая вода используется, в основном, при увлажнении зерна гречихи с последующим отволаживанием и без его пропаривания паром [21]. Впрочем, сушка горячим воздухом все же присутствует. Воздействии горячей воды более мягкое и бережное по отношению к термолабильным компонентам зерна гречихи.

Также возможна передача тепла другими способами. Например, кондуктивным способом – обрабатываемый объём зерна располагается на греющей поверхности. Форма греющей поверхности может быть плоская или коническая [60]. При этом может проводиться дополнительное механическое перемешивание толщи зерна, во избежание локального перегрева и для обеспечения выравнивания температурных полей по толще зерновой массы. Таким способом возможна сухотепловая (ксеротермическая) обработка, или обжарка зерна. Если же зерно предварительно увлажнено, то при этом происходит гидротермическая обработка. Применяют также высокотемпературный обжиг зерна [61].

Излучение, как способ подвода энергии, может быть реализовано при помощи инфракрасных волн, микроволн, гамма-облучения. Инфракрасная микронизация позволяет быстро нагреть зерно [49]. Это позволяет сократить время обработки, сократив потери термолабильных витаминов.

Известно использование энергии микроволнового излучения для гидротермической обработки зёрен гречихи [62]. Микроволновая обработка зерен гречихи улучшает качество получаемого из них безглютенового хлеба, увеличивая вязкость теста [63]. Сочетание воздействия микроволновой и влажностной обработки повышает водопоглотительную способность гречневой муки [64].

Обработка зерна гречихи гамма-облучением позволяет повысить антиоксидантную активность ядра и муки из нее. Увеличивается содержание полифенолов, рутина, флавоноидов. Одновременно происходит эффективное обеззараживание зерна [65].

Таким образом, гидротермическая обработка зерна гречихи может быть проведена с использованием различных способов передачи тепла. При конвективном нагреве используются такие тепловые агенты, как водяной насыщенный или перегретый пар, горячая вода, горячий воздух или парогазовая смесь. Кондуктивный нагрев проводится на плоских или конических поверхностях, при

# ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА ГРЕЧИХИ. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ И НУТРИЦЕВТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯДРА. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУЗГИ

этом удобно реализуется движение зерновой массы. Передача тепла излучением может быть выполнена посредством инфракрасных волн, микроволнового излучения или гамма-облучения, отличается малым временем обработки и высоким сохранением термолabileльных компонентов.

## Возможности использования плодовых оболочек – гречневой лузги

В соответствии с принципом «циркулярной» экономики [66], не только ядро или продукты его переработки являются целевыми продуктами обработки зерна гречихи. Так называемые отходы производства являются ценным вторичным сырьем для получения востребованных экономикой продуктов [67]. Поэтому плодовые оболочки, отделенные от ядра после шелушения зерна гречихи, гречневая лузга, также может быть использована с пользой [22]. Количество такого вторичного сырья – гречневой лузги – довольно велико, доля лузги составляет от 20 до 30 % от массы перерабатываемого гречневого зерна [68].

При гидротермической обработке плодовые оболочки наряду с ядром зерна гречихи также подвергаются воздействию влаги и тепла. При этом происходит двусторонний обмен некоторыми компонентами как при увлажнении на первом этапе обработки, так и при высушивании на втором этапе обработки. Состав плодовых оболочек после гидротермической обработки также изменяется [27, 29, 33].

В настоящее время одним из наиболее распространенных способов использования (утилизации) гречневой лузги является ее сжигание в качестве топлива для паровых котлов [69]. Сжигание лузги позволяет обеспечить потребности крупяного производства в технологическом водяном паре, а также использовать это тепло для нужд отопления.

Зола после сжигания гречневой лузги может быть использована в качестве минеральной подкормки для сельскохозяйственных растений. Также возможно использование такой золы в качестве модифицирующей добавки для композиционных материалов на основе, например, эпоксидной смолы [70], в целях повышения износостойкости.

Другим распространенным способом использования гречневой лузги является применение ее в качестве садовой мульчи [71]. Гречневая лузга может быть применена в качестве добавки в составе пищевых продуктов [68]. Возможно использование в качестве теплоизолирующей засыпки аналогично [72] при соответствующей защите строительной конструкции от проникновения грызунов.

Однако плодовые оболочки гречихи могут быть использованы и по-иному. Например, вместо сжигания возможно гречневую лузгу использовать как сырье для получения биочара (биоугля) [73], синтез-газа, бионефти [74]. Параллельно возможно также получение необходимого для промышленного производства по переработке зерна гречихи количества тепловой энергии. Также возможна обработка лузги методом гидротермальной карбонизации [75] с получением углеродных частиц.

Гречневую лузгу можно использовать в качестве компонента растительного субстрата для культивирования высших грибов [76]. После заращивания такого субстрата могут быть получены плодовые тела. Последние могут быть использованы не только как пищевой продукт, но и как сырье для выделения хитин-глюканового комплекса [77] с последующим получением карбоксиметилхитин-глюканового [78] или хитозан-глюканового комплексов. Эти комплексы

могут служить основой различных функциональных композиционных материалов, в виде мембран и покрытий, раневых повязок и т.п. [79].

Лузгу можно также использовать в качестве адсорбента при очистке сточных вод. Биополимеры из лузги могут быть использованы для получения биокомпозитов, биопластиков, биоразлагаемой упаковки [80]. Возможно использование в качестве наполнителя композиционных материалов [81], например, на основе минеральной матрицы, как описано в [82]. Также измельченная и дополнительно обработанная лузга может быть использована в качестве армирующего наполнителя для композиционных материалов [83, 84] на основе термопластичных матриц.

После пропаривания в гречневой лузге наблюдается высокое содержание кверцетина [36]. В плодовых оболочках также содержится рутин, как и в ядре зерна. Биологически активные компоненты могут быть извлечены из лузги субкритической экстракцией этанолом, с высоким выходом [85].

Таким образом, потенциал применения гречневой лузги является, во многом, не раскрытым полностью. Помимо традиционного способа утилизации гречневой лузги, как топлива, возможны другие варианты. Это, например, наполнитель композиционных материалов, субстрат для получения материалов на основе хитина, сырье для выделения биологически активных компонентов и т.п.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При гидротермической обработке происходит значительное изменение структурно-механических свойств, химического и биохимического состава как ядра зерна гречихи, так и его плодовой оболочки. Процесс пропаривания может быть охарактеризован как тепловой процесс с сопутствующим массопереносом.

В настоящей статье впервые обобщены сведения о гидротермической обработке зерна гречихи за последние годы. Одним из перспективных направлений использования продуктов переработки гречневого зерна является создание функциональных продуктов на основе гречихи и адаптация режимов гидротермической обработки при получении таких продуктов.

Стоит обратить внимание исследователей на недостаточность данных о минимальных величинах структурно-механических характеристик ядра и плодовой оболочки гречихи, необходимых для шелушения пропаренного зерна с минимумом (или отсутствием) дробленого ядра. Также неочевидно, как условия гидротермической обработки формируют эти свойства. Таким образом, отсутствует рациональное обоснование связи условий гидротермической обработки зерна гречихи и выхода цельного ядра при шелушении. Слабо изучена динамика взаимодействия водяного пара и зерна, например, в непрерывно действующем пропаривателе.

Также крайне мало сведений об условиях гидротермической обработки зерна гречихи, пересушенного сверх нормативной влажности. Такое зерно может быть получено, например, вследствие жаркого лета. С учетом текущего и возможного дальнейшего изменений климата эта проблема может стать очень актуальной.

Целесообразно установить зависимость прочности зерна гречихи с различной начальной влажностью от температуры и длительности гидротермической обработки. Интерес представляет динамика изменения прочности зерна при температурах гидротермической обработки от 100 до 140 °C со временем экспозиции до 12 минут. Прошедшие такую обработку

зерна стоит подвергнуть шелушению, например, на обычном [10] или модернизированном шелушильном поставе [86, 87] для оценки коэффициентов эффективности шелушения и выхода цельного ядра. В совокупности эти исследования позволяют установить технологически обоснованные диапазоны варьирования режимов гидротермической обработки.

Интерес представляет исследование «мягких» режимов гидротермической обработки – при атмосферном или при невысоком избыточном давлении и ограниченно повышенной температуре. Такие условия характерны для непрерывно действующего пропаривателя. Перспективно исследование динамики изменения цвета ядра, а также изучение изменения содержания и активности биоактивных компонентов, антиоксидантов, антипитательных факторов в таких условиях гидротермической обработки.

Заслуживает внимания возможность использования плодовых оболочек – гречневой лужги для получения продуктов с высокой добавленной ценностью, например, таких композиционных материалов, как биочара, функциональных композитов на углеродной матрице, а также армирующих наполнителей биокompозитов и других материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная служба государственной статистики. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии). [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/29\\_cx\\_2023.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/29_cx_2023.xlsx).
2. Food and Agriculture Organization of the United Nation/ FAOStat. <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL/visualize>.
3. Graziano, S., Agrimonti, C., Marmiroli, N., Gulli, M. Utilization and limitations of pseudocereals (quinoa, amaranth, and buckwheat) in food production: A review // *Trends in Food Science & Technology*, Volume 125, 2022, P. 154-165. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.007>.
4. Марьин, В.А. Распределение размера ядра во фракциях зерна гречихи / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2019. № 1. С. 130-138.
5. Krefit, I., Golob, A., Vombergar, B., Germ, M. Tartary Buckwheat Grain as a Source of Bioactive Compounds in Husked Groats. *Plants* 2023, 12, 1122. <https://doi.org/10.3390/plants12051122>.
6. Duliński, R., Starzyńska-Janiszewska, A., Byczyński, Ł., Błaszczuk, U. (2017). Myo-inositol phosphates profile of buckwheat and quinoa seeds: Effects of hydrothermal processing and solid-state fermentation with *Rhizopus oligosporus*, *International Journal of Food Properties*, 20:9, 2088-2095. DOI: 10.1080/10942912.2016.1230871.
7. Kadiri, O. A review on the status of the phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour: Effects of cereal processing // *International Journal of Food Properties*, 2017. V. 20: sup1, PP.798-809. DOI: 10.1080/10942912.2017.1315130.
8. Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., Hernández-Ledesma, B. Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods // *Food and Chemical Toxicology*, 137 (2020), Article 111178, 10.1016/j.fct.2020.111178.
9. Sindhu, R, Khatkar, B.S.I nfluence of oxidation, acetylation and hydrothermal treatment on structure and functionality of common buckwheat starch, *International Journal of Biological Macromolecules*. Volume 253, Part 5, 2023, 127211, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127211>.
10. Правила организации и ведения технологического процесса на крупяных предприятиях. М. : ВНПО «Зернопродукт», 1990. В 2-х ч. Ч.1. 81с.
11. Mar'in, V.A. and Vereshchagin, A.L. Physical principles of processing off-grade buckwheat. *Foods and raw materials*, 2016, vol. 4, no. 1, pp. 5160. doi: 10.211179/2308-4057-2016-1-51-60.
12. Киселева, Т.Л. Гречиха с позиции традиционной медицины и современных научных представлений: пищевые, энергетические и лечебно-профилактические свойства. Аллер-

гологические риски / Т.Л. Киселева, М.А. Киселева // *Традиционная медицина*. 2016. № 3(46). С. 16-41.

13. Оборудование для производства муки и крупы / Сост. А.Б. Демский [и др.] : справочник / ред. : М.А. Борискин, В.Ф. Веденев. С-Пб. : Профессия, 2000. 624 с.

14. Sá, A.G.A., Moreno, Y.M.F. Carciofi, B.A.M. Food processing for the improvement of plant proteins digestibility // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. V. 60, No.(20), P. 3367-3386. DOI: 10.1080/10408398.2019.1688249.

15. Zamaratskaia, G., Gerhardt, K., Knicky, M. & Wendin, K. (2023). Buckwheat: an underutilized crop with attractive sensory qualities and health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(33), 12303-12318. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2249112>.

16. Mathobo, V.M., Silungwe, H., Ramashia, S.E. [et al.]. Effects of heat-moisture treatment on the thermal, functional properties and composition of cereal, legume and tuber starches—a review. *J Food Sci Technol* 58, 412-426 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04520-4>.

17. Morteza Oghbaei & Jamuna Prakash | Fatih Yildiz (Reviewing Editor) (2016). Effect of primary processing of cereals and legumes on its nutritional quality: A comprehensive review, *Cogent Food & Agriculture*, 2:1. DOI: 10.1080/23311932.2015.1136015.

18. Iuga, M. & Mironcusa, S. (2019). A review of the hydrothermal treatments impact on starch based systems properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(22), 3890-3915. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1664978>.

19. Остриков, А.Н. Аналитическое решение задачи распределения полей влагосодержания в частице с треугольной симметрией / А.Н. Остриков, Д.С. Сайко, Л.И. Лыткина, С.А. Швецов // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2015. № 2-3. С. 71-74.

20. Arslan-Tontul, S., CandalUslu, C., Mutlu, C. [et al.]. Expected glycemic impact and probiotic stimulating effects of whole grain flours of buckwheat, quinoa, amaranth and chia. *J Food Sci Technol* 59, 1460-1467 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05156-8>.

21. Анисимова, Л.В. Распределение влаги в зерне крупяных культур при увлажнении и отволаживании / Л.В. Анисимова // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2005. № 1. С. 60-62.

22. Марьин, В.А. Пищевая ценность отходов переработки зерна гречихи / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // *Хлебопродукты*. 2014. № 7. С. 51-53. EDNSGHSMN.

23. Угрозов, В.В. О математическом описании изотермы сорбции паров воды в зёрнах различных злаковых культур / В.В. Угрозов, А.Н. Филиппов, Ю.И. Сидоренко // *Журнал физической химии*. 2007. № 3. С. 458-461.

24. Казаков, Е.Д. Изменение структуры и текстуры тканей зерна при гидротермической обработке / Е.Д. Казаков // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1997. № 2-3. С. 8-10.

25. Марьин, В.А. Влияние влажности на структурно-механические свойства ядра гречихи / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин, Н.В. Бычин // *Хлебопродукты*. 2015. № 10. С. 41-43.

26. Румянцев, А.А. Математическая модель кинетики увлажнения зерна крупяных культур при гидротермической обработке / А.А. Румянцев // *Ползуновский вестник*. 2018. № 2. С. 56-59.

27. Марьин, В.А. Влияние температурной обработки на доступность минеральной составляющей зерна гречихи, ядра и оболочки / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // *Техника и технология пищевых производств*. 2014. № 3. С. 58-63.

28. Frederik Janssen, Anneleen Pauly, Ine Rombouts, Koen J.A. Janssens, Lomme J. Deleu, and Jan A. Delcour Proteins of Amaranth (*Amaranthus* spp.), Buckwheat (*Fagopyrum* spp.), and Quinoa (*Chenopodium* spp.): A Food Science and Technology Perspective *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* Vol. 16, 2017. doi: 10.1111/1541-4337.12240.

29. Марьин, В.А. Влияние температуры обработки на минеральный состав зерна гречихи, перезимовавшей под снегом / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин, Р.В. Ащеулов // *Техника и технология пищевых производств*. 2016. № 3(42). С. 31-37.

30. Zhang, Y., Yang, T., Yue, D., Shao, X., Chen, Y. Cold plasma-assisted buckwheat grain dehulling and farinographical properties of dehulled buckwheat flour // *Journal of Cereal Science*,

# ГИДРОТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА ГРЕЧИХИ. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ И НУТРИЦЕВТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯДРА. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУЗГИ

Volume 112, 2023, 103716, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103716>.

31. Pandey, S., Senthil, A., Fatema, K. (2015). Effect of Hydrothermal Treatment on the Nutritional and Functional Properties of Husked and Dehusked Buckwheat. *J Food Process Technol* 6: 461. doi: 10.4172/2157-7110.1000461.

32. Goel, C., Semwal, A.D., Khan, A. [et al.]. Physical modification of starch: changes in glycemic index, starch fractions, physicochemical and functional properties of heat-moisture treated buckwheat starch. *J Food Sci Technol* 57, 2941-2948 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04326-4>.

33. Марьин, В.А. Изучение минерального состава зерна, ядра и оболочки в процессе производства крупы гречневой ядрицы / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 20-22 мая 2015 года. Бийск: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2015. С. 388-392.

34. Roy, M., Dutta, H., Jaganmohan, R. [et al.]. Effect of steam parboiling and hot soaking treatments on milling yield, physical, physicochemical, bioactive and digestibility properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.) *J Food Sci Technol* (2019). 56: 3524. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03849-9>.

35. Ragaee, S., Seetharaman, K., Abdel-Aal, E.-S.M. (2014). The Impact of Milling and Thermal Processing on Phenolic Compounds in Cereal Grains, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54:7, 837-849. DOI: 10.1080/10408398.2011.610906.

36. Keriene, I., Mankeviciene, A., Bliznikas, S., Cesnuleviciene, R., Janaviciene, S. [et al.]. (2016). The effect of buckwheat groats processing on the content of mycotoxins and phenolic compounds, *CyTA. Journal of Food*, 14:4, 565-571, <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1176959>.

37. Li, H. Buckwheat. In: *Bioactive factors and processing technology for cereal foods* / J. Wang et al. (eds.) Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019. Pp. 137-149. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6167-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6167-8_8).

38. Christa, K. Buckwheat grains and buckwheat products nutritional and prophylactic value of their components - a review / K. Christa and M. Soral-Šmietana / *Czech Journal of food science*. 2008. 26: 153-162.

39. Liu, X., Wang, L., Li, C., Li, X., Kumrungsee, T., Zhai, X., Zhou, Z., Cao, R. The modification of buckwheat polyphenols by different pretreatments and complexation, and its application in oat flour model. *Food Biosci.* 2023, 56, 103133. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103133>.

40. Magdalena Skotnicka, Aneta Ociczek & Sylvania Małgorzewicz. (2018). Satiety value of groats in healthy women as affected by selected physicochemical parameters, *International Journal of Food Properties*, 21:1, 1138-1151. DOI: 10.1080/10942912.2018.1485028.

41. Шевцов, А.А. Использование искусственного холода – резерв энергетической эффективности влаготепловой обработки зерна гречихи / А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, А.И. Клейменов // *Хлебопродукты*. 2012. № 5. С. 54-57.

42. Zhang, L., Meng, Q., Zhao, G., Ye, F. Comparison of milling methods on the properties of common buckwheat flour and the quality of wantuan, a traditional Chinese buckwheat food // *Food Chemistry: X*, Volume 19, 2023, 100845, <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100845>.

43. Константинов, М.М. Способ определения равномерности гидротермической обработки зерна крупяных культур / М.М. Константинов, А.А. Румянцев, Н.А. Борзов // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2012. № 3. С. 79-82.

44. Марьин, В.А. Регулирование цветности ядра гречневой крупы / В.А. Марьин, Е.А. Федотов, А.Л. Верещагин, К.С. Барабошкин // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2009. № 5. С. 41-42.

45. Марьин, В.А. Пищевая ценность гречневой крупы различных оттенков / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин // *Хлебопродукты*. 2011. № 10. С. 50-51.

46. Приезжева, Л.Г. Изменение биохимических и органолептических показателей крупы при хранении в условиях пере-

менной температуры / Л.Г. Приезжева // *Хлебопродукты*. 2016. № 4. С. 47-49.

47. Приезжева, Л.Г. Определение нормы свежести и годности гречневой крупы по кислотному числу жира / Л.Г. Приезжева // *Хлебопродукты*. 2015. № 12. С. 54-56.

48. Валентас, К.Дж., Ротштейн, Э., Сингх, Р.П. Пищевая инженерия. Справочник с примерами расчетов. Пер. с англ.; под общ. науч. ред. А.Л. Ишевского. СПб.: Профессия, 2004. 848 с.

49. Бастриков, Д.Н. Переработка зерна гречихи / Д.Н. Бастриков // *Хлебопродукты*. 2014. № 7. С. 54-55.

50. Dziedzic, K., Gorecka, D., Kucharska, M., Przybylska, B. Influence of technological process during buckwheat groats production on dietary fibre content and sorption of bile acids (2012) *Food Research International*, 47 (2) , pp. 279-283. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.020>.

51. Wu, W., Qiu, J., Wang, A. & Li, Z. Impact of whole cereals and processing on type 2 diabetes mellitus: a review // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. V. 60, No. 9. P. 1447-1474. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1574708>.

52. Анисимова, Л.В. Гидротермическая обработка зерна гречихи без использования пропаривания / Л.В. Анисимова // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2000. № 5-6. С. 50-52.

53. Чашчилов, Д.В. Контроль расхода пара для управления процессом пропаривания гречневого зерна в производстве гречневой крупы / Д.В. Чашчилов / *Южно-сибирский научный вестник*. 2019. № 4/2. С. 192-198. DOI: <https://doi.org/10.25699/SSSB.2019.28.49830>.

54. Сорбция и десорбция паров воды зернами нативного крахмала некоторых культур / В.В. Угрозов, Н.Н. Шебершнева, А.Н. Филиппов, Ю.И. Сидоренко // *Коллоидный журнал*. 2008. Т. 70. № 3. С. 402-407.

55. Чашчилов, Д.В. Анализ работы пропаривателя гречневого зерна на крупозаводе / Д.В. Чашчилов // *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 20-22 мая 2020 года. Бийск: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2020. С. 444-448.*

56. Чашчилов, Д.В. Исследование процесса пропаривания зерна гречихи / Д.В. Чашчилов // *Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: материалы. XIX международной научно-практической конференции (22-23 марта 2018 г.): 3 ч. / под ред. В.А. Вагнера, Е.С. Дикаловой; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. Ч. 3. С. 184-189.*

57. Ярум, А.И. Совершенствование технологии переработки зерна гречихи на основе нового оборудования / А.И. Ярум // *Вестник КрасГАУ*. 2013. № 11. С. 285-291.

58. Патент РФ 2672331 Способ гидротермической обработки зерна / И.Н. Павлов, В.А. Марьин, А.Н. Блазнов, Р.Б. Ермаков // В02В 1/08. 18.12.2017. Заявка 2017144317.

59. Лыткина, Л.И. Гидродинамика процесса сушки гречихи перегретым паром / Л.И. Лыткина, Е.А. Острикова, А.И. Клейменов, В.Н. Носкова // *Вестник ВГУИТ*. 2012. № 2. С. 48-51.

60. Румянцев, А.А. Методика комплексного анализа способов гидротермической обработки зерна гречихи / А.А. Румянцев // *Современная наука и инновации*. 2018. 32. С. 92-97.

61. Патент РФ №2484901. Способ гидротермической обработки зерна гречихи. С.В. Карев, Л.М. Камозин, Н.В. Земляков. В02В 1/08. Заявка 201140640/13, 06.10.2011.

62. Шутенко, В.И. Влаготепловая обработка зерна гречихи с использованием СВЧ поля / В.И. Шутенко, С.М. Соц, А.А. Донец // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2012. № 1. С. 53-58.

63. Vicente, A., Villanueva, M., Caballero, P.A., Lazaridou, A., Biliaderis, C.G., Ronda, F. Flours from microwave-treated buckwheat grains improve the physical properties and nutritional quality of gluten-free bread, *Food Hydrocolloids*, Volume 149, 2024, 109644, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109644>.

64. Vicente, A., Villanueva, M., Caballero, P.A., Muñoz, J.M., Ronda, F. Buckwheat grains treated with microwave radiation: Impact on the techno-functional, thermal, structural, and rheological properties of flour // *Food Hydrocolloids*, 137 (2023), Article 108328, 10.1016/j.foodhyd.2022.108328.

65. Amiri, M., Arab, M., Sadrabad, E.K., Mollakhalili-Meybodi, N., Fallahzadeh, H. Effect of gamma irradiation treatment on the antioxidant activity, phenolic compounds and flavonoid content of common buckwheat, *Radiation Physics and Chemistry*, Volume 212, 2023, 111127, <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111127>.
66. Zhou, Y.H., Stanchev, P., Katsou, E., Awad, S., Fan, M.Z. A circular economy use of recovered sludge cellulose in wood plastic composite production: Recycling and eco-efficiency assessment. *Waste Management*, 2019, V. 99, PP 42-48. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.08.037.
67. Haque, F., Fan, C., Lee, Y.-Y. From waste to value: Addressing the relevance of waste recovery to agricultural sector in line with circular economy, *Journal of Cleaner Production*, Volume 415, 2023, 137873, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137873>.
68. Клинецвич, В.Н. Способы использования лузги гречихи посевной / В.Н. Клинецвич, Е.А. Флюрик // Труды БГТУ. Серия 2 : Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2020. № 1(229). С. 68-81.
69. Хазиев, Р.И. Использование гречневой лузги в энергетических установках / Р.И. Хазиев, П.В. Стрельникова, О.К. Григорьева // Наука. Технологии. Инновации : Сборник научных трудов конференции, Новосибирск, 30 ноября 04 2020 года. Том Часть 4. Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. С. 225-226.
70. Сравнение модифицирующего действия золы рисовой и гречневой шелухи в эпоксидных антифрикционных покрытиях / Е.М. Готлиб, А.Р. Валеева, Е.С. Ямалева [и др.] // Вестник Югорского государственного университета. 2021. № 4(63). С. 9-15. DOI 10.17816/byusu20210409-15.
71. Santana-Méridas, O., González-Coloma, A. & Sánchez-Vioque, R. Agricultural residues as a source of bioactive natural products / *Phytochem Rev.* 2012. Vol. 11. P. 447-466. <https://doi.org/10.1007/s11101-012-9266-0>.
72. Чашчилов, Д.В. Исследование зависимости коэффициента теплопроводности от насыпной плотности Цветковой чешуи овса посевного *Avenasativa L.* / Д.В. Чашчилов // Южно-Сибирский научный вестник 2022. № 6(46). С. 300-307. DOI 10.25699/SSSB.2022.46.6.047.
73. Low, Y.W., Yee, K.F. A review on lignocellulosic biomass waste into biochar-derived catalyst: current conversion techniques, sustainable applications and challenges. *Biomass Bioenergy*, 154 (2021), Article 106245. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106245>.
74. Kazimierski, P., Januszewicz, K., Godlewski, W., Fijuk, A., Suchocki, T., Chaja, P., Barczak, B., Kardaś, D. The Course and the Effects of Agricultural Biomass Pyrolysis in the Production of High-Calorific Biochar. *Materials* 2022, 15, 1038. <https://doi.org/10.3390/ma15031038>.
75. Li, N., Liu, M., Zhang, Z., Wang, S., Ce Liang, C., Yu, K. Precise control of morphology and electrochemical properties of buckwheat husk-based biomass carbon spheres // *Diamond and Related Materials*, Volume 130, 2022, 109462, <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109462>.
76. Чашчилов, Д.В. Исследование процессов пастеризации горячим воздухом и ферментации лигноцеллюлозного субстрата в лабораторном пастеризаторе-ферментаторе / Д.В. Чашчилов, Д.В. Минаков // Южно-Сибирский научный вестник 2020. № 6(34). С. 205-211.
77. Чашчилов, Д.В. Использование биомассы выращенных на непищевом растительном сырье высших грибов для выделения хитин-гликоканового комплекса в экстракционной установке / Д.В. Чашчилов, Д.В. Минаков, А.А. Минакова, Н.В. Бычин // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 6(46). С. 203-209. DOI 10.25699/SSSB.2022.46.6.027.
78. Патент № 2822043 С1 Российская Федерация, МПК С08В 37/08, А61К 31/722. Способ получения карбоксиметилхитин-гликоканового комплекса : № 2023106853 : заявл. 22.03.2023 : опубл. 28.06.2024 / Д.В. Минаков, А.А. Минакова, В.И. Маркин, Н.Г. Базарнова, Д.В. Чашчилов ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Биополимер-Лайн".
79. Чашчилов, Д.В. Хитозан-гликокановый комплекс из плодовых тел высших грибов как основа функциональных пленочных гибридных биокомпозитов / Д.В. Чашчилов, Д.В. Минаков, А.А. Минакова, Н.В. Бычин // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 3(55). С. 17-26. DOI: 10.25699/SSSB.2024.55.3.003.
80. Hassan, S.A., Abbas, M., Mujahid, W., Waqar Ahmed, W., Ahmad, S., Maan, A.A., Shehzad, A., Zuhair, F., Bhat, Z.F., Aadil, R.M. Utilization of cereal-based husks to achieve sustainable development goals: Treatment of wastewater, biofuels, and biodegradable packaging / *Trends in Food Science & Technology*, Volume 140, 2023, 104166, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104166>.
81. Chashchilov, D.V., Atyasova, E.V., Blaznov, A.N. Plant Fibers and the Application of Polymer-Composite Materials Based on Them: A Review // *Polymer Science, Series D*. 2022. Vol. 15. No. 4. P. 685-691. DOI: 10.1134/S1995421222040050.
82. Blaznov, A.N. Study of Gypsum Samples with Additions of Mineral Particles / A.N. Blaznov, P.V. Vereshchagin, G.S. Zadvornyykh [et al.] // *Polymer Science, Series D*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 402-406. DOI 10.1134/s1995421224700679. EDN QMYWYD.
83. Vázquez-Fletes, R.C., Sadeghi, V., González-Núñez, R., Rodrigue, D. Effect of Surface Modification on the Properties of Buckwheat Husk-High-Density Polyethylene Biocomposites. *J. Compos. Sci.* 2023, 7, 429. <https://doi.org/10.3390/jcs7100429>.
84. Włoch, M., Landowska, P. Preparation and Properties of Thermoplastic Polyurethane Composites Filled with Powdered Buckwheat Husks. *Materials* 2022, 15, 356. <https://doi.org/10.3390/ma15010356>.
85. Yuan, Y., Shimizu, N., Li, F., Magaña, J., Li, X. Buckwheat waste depolymerization using a subcritical ethanol solution for extraction of bioactive components: from the laboratory to pilot scale // *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 11, Issue 3, 2023, 109807, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109807>.
86. Марьин, В.А. Выработка гречневой крупы без продела / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин, Н.В. Бычин // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 3. С. 51-57.
87. Марьин, В.А. Целесообразность применения деки из вязкоупругого материала при шелушении зерна гречихи / В.А. Марьин, А.Л. Верещагин, А.А. Иванов // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 1. С. 87-95. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-87-95>.

#### Информация об авторе

Д. В. Чашчилов – к.т.н., ведущий инженер лаборатории «Материаловедение минерального сырья» Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

#### Information about the authors

D.V. Chashchilov - Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer of the Laboratory of Materials Science of Mineral Raw Materials of the Institute of Problems of Chemical and Energy Technologies SB RAS.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18 января 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 18 Jan 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.



## РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 620.183; 620.187

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.022



### БОРИРОВАНИЕ СТАЛИ 3Х2В8Ф ДИФФУЗИОННЫМ И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

Ундрах Лхагвасуренович Мишигдоржийн <sup>1</sup>,  
Павел Анатольевич Гуляшинов <sup>2</sup>, Степан Алексеевич Лысых <sup>3</sup>,  
Николай Сергеевич Улаханов <sup>4</sup>, Павел Владимирович Москвин <sup>5</sup>,  
Максим Сергеевич Воробьев <sup>6</sup>

<sup>1, 3, 4</sup> Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФМ СО РАН), Улан-Удэ, Россия

<sup>2</sup> Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук (БИП СО РАН), Улан-Удэ, Россия

<sup>5, 6</sup> Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), Томск, Россия

<sup>1</sup> undrakh@ipms.bscnet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7863-9045>

<sup>2</sup> gulpasha@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6776-9314>

<sup>3</sup> lysyh.stepa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1421-5251>

<sup>4</sup> nulahanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0635-4577>

<sup>5</sup> pavelmoskvin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5240-9970>

<sup>6</sup> vorobyovms@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5136-5905>

**Аннотация.** Требуемые теплофизические и механические свойства металлических изделий могут быть обеспечены за счет формирования на их поверхности защитных борсодержащих покрытий и диффузионных слоев. В настоящей работе проведено сравнительное исследование двух процессов нанесения боридного слоя на поверхность легированной стали 3Х2В8Ф – диффузионного борирования (ДБ) и электронно-пучкового легирования (ЭПЛ). В обоих случаях в качестве источника бора применяли пасты на основе карбида бора. Диффузионное борирование проводили в течение 2 часов при температуре 1050 °С в насыщающих пастах. Электронно-пучковое легирование проводили на базе модернизированного источника электронов с плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления. Ток разряда изменяли в течение импульса длительностью 1 мс, в пределах 30–110 А таким образом, чтобы температура на поверхности образца через 200 мкс после начала воздействия удерживалась ~2000 °С. Поверхность образцов подвергали двенадцати импульсам воздействия, интервал времени между которыми составлял 3 секунды. В результате ДБ на поверхности стали 3Х2В8Ф получены боридные слои толщиной до 60 мкм. После ЭПЛ толщина слоя в два раза выше и достигает 130 мкм. Установлено, что после ДБ и ЭПЛ на поверхности стали формируются бориды железа Fe<sub>2</sub>B и FeB. Максимальная микротвердость боридных слоев составила 1120 HV и 1015 HV на после ДБ и ЭПЛ соответственно. Легирование электронным пучком приводит к формированию более протяженного по глубине боридного слоя за короткий промежуток времени. При этом фазовый состав идентичен слою после ДБ, а микротвердость слоев после обоих процессов сопоставима.

**Ключевые слова:** электронно-пучковое легирование, диффузионное легирование, борирование в пастах, бориды, легированная сталь, микроструктура, микротвердость, пластичность.

**Финансирование:** Исследование выполнено при финансовом обеспечении гранта Российского Научного Фонда (проект 19-79-10163-П).

**Для цитирования:** Борирование стали 3Х2В8Ф диффузионным и электронно-пучковым легированием / У. Л. Мишигдоржийн [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 149–155. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.022, EDN: <https://elibrary.ru/EKKYZZ>.



## BORIDING OF 3Kh2V8F STEEL BY DIFFUSION AND ELECTRON BEAM ALLOYING

Undrakh L. Mishigdorzhiiyn<sup>1</sup>, Pavel A. Gulyashinov<sup>2</sup>, Stepan A. Lysykh<sup>3</sup>,  
Nikolay S. Ulakhanov<sup>4</sup>, Pavel V. Moskvina<sup>5</sup>, Maxim S. Vorob'yev<sup>6</sup>

<sup>1, 3, 4</sup> Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia

<sup>2</sup> Baikal Institute of Nature Management of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia

<sup>5, 6</sup> Institute of High Current Electronics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Tomsk, Russia

<sup>1</sup> undrakh@ipms.bscnet.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7863-9045>

<sup>2</sup> gulpasha@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6776-9314>

<sup>3</sup> lysykh.stepa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1421-5251>

<sup>4</sup> nulakhanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0635-4577>

<sup>5</sup> pavelmoskvina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5240-9970>

<sup>6</sup> vorob'yevms@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5136-5905>

**Abstract.** The required physical, thermal and mechanical properties of metal products can be ensured by forming protective boron-containing coatings and diffusion layers on their surface. In current study, a comparative analysis of two processes for applying a boride layer to the surface of 3Kh2V8F alloy steel - diffusion boriding (DB) in saturating pastes and electron beam alloying (EBA) - was carried out. In both cases, pastes based on boron carbide were used as a source of boron. Diffusion boriding was carried out for 2 hours at a temperature of 1050 °C in saturating pastes. Electron beam alloying was carried out on the basis of a modernized electron source with a plasma cathode based on a low-pressure arc discharge. The discharge current was varied during a 1 ms pulse, within the range of 40–90 A, so that the temperature on the surface of the sample was maintained at ~2000°C after the start of 200 μs exposure. The surface of the samples was subjected to three pulses with the interval of 3 seconds. As a result of DB, the boride layers up to 60 μm thick were obtained on the surface of 3Kh2V8F steel. After EBA, the layer thickness was twice as high and reached 130 μm. It has been established that after DB and EBA, iron borides Fe<sub>2</sub>B and FeB were formed on the steel surface. The maximum microhardness of the boride layers was 1120 HV and 1015 HV after DB and EBA, respectively. Surface alloying with the pulsed electron beam leads to the formation of the thick boride layer in a short period of time. At the same time, the phase composition was identical to the layer after DB, and the microhardness of the layers after both processes was comparable.

**Keywords:** electron beam alloying, diffusion alloying, boriding in pastes, borides, alloy steel, microstructure, microhardness, plasticity.

**Acknowledgements:** The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project 19-79-10163-P).

**For citation:** Mishigdorzhiiyn, U.L., Gulyashinov, P.A., Lysykh, S.A., Ulakhanov, N.S., Moskvina, P.V. & Vorob'yev, M.S. (2024). Boriding of 3Kh2V8F steel by diffusion and electron beam alloying. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 149-155. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.022, EDN: <https://elibrary.ru/EKKYZZ>.

### ВВЕДЕНИЕ

Приоритетным направлением современного материаловедения является повышение эксплуатационной стойкости рабочих поверхностей деталей машин. Известно, что эффективным методом формирования необходимых свойств является химико-термическая обработка (ХТО), заключающаяся в диффузионном легировании (ДЛ) поверхности металлов и сплавов различными химическими элементами [1]. В настоящее время известно несколько методов ХТО, различаемые по типу насыщающей среды: газовые, жидкостные и твердофазные (в порошковых средах и пастах) [2, 3]. Перечисленные способы ХТО требуют длительной выдержки при высокой температуре из-за малых коэффициентов диффузии легирующих элементов, что отрицательно влияет на структуру и свойства основного металла. Во многом данный недоста-

ток решается за счет совмещения ХТО с термической обработкой. Так, закалка и отпуск после жидкостного борирования позволяют повысить поверхностную твердость до 2000 HV и сохранить прочность всего изделия [3].

Диффузионные боридные слои, как правило, имеют игольчатую или зубчатую структуру, вызванную преимущественным ростом кристаллов боридов в направлении [4]. Данное строение кристаллов обеспечивает высокую поверхностную твердость и износостойкость [5, 6]. Однако с повышением упомянутых свойств сопротивление ударным нагрузкам снижается. Существует несколько способов снижения хрупкости боридных слоев, одним из которых является электронно-лучевая обработка предварительно полученных диффузионных боридных слоев с целью их структурно-фазовой модификации [7].

## БОРИРОВАНИЕ СТАЛИ 3Х2В8Ф ДИФфуЗИОННЫМ И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

Известно, что методы обработки концентрированными потоками энергии (КПЭ), такие как лазерная и электронно-лучевая обработка (ЭЛО), способны за короткий промежуток времени нагреть участок поверхности материала [8–10] и не требуют длительного температурного воздействия на материал основы. В настоящее время электронно-лучевые технологии находят все более широкое применение в создании борсодержащих покрытий. В отличие от установок с непрерывным электронно-лучевым нагревом использование источников электронов с плазменным катодом обеспечивает высокую плотность энергии и возможность регулировки мощности пучка в течение субмиллисекундной длительности импульса тока пучка [11–13]. Это позволяет контролировать температуру поверхности и сократить время обработки при электронно-пучковом легировании.

Цель настоящей работы – получить защитные боридные диффузионные слои и покрытия на поверхности штамповой стали 3Х2В8Ф двумя разными способами. В ходе работы планируется исследовать микроструктуру и строение слоёв и покрытий, полученных методом диффузионного насыщения и электронно-пучковым легированием (ЭПЛ).

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве насыщающих смесей использовались порошкообразные материалы: карбид бора В<sub>4</sub>С марки F-220, натрий фтористый NaFчда (ГОСТ 4463-76). Для процесса борирования использовалась смесь 96 % В<sub>4</sub>С + 4 % NaF.

Процессы ХТО в порошках проводились в лабораторной печи ПМ-16П-ТД при температуре 1050 °С. ХТО подверглись образцы из штамповой стали 3Х2В8Ф размером 20×20×10 мм. Продолжительность процесса обработки составляла 2 ч. Сталь 3Х2В8Ф применяется для изготовления штамповой оснастки для процессов горячего деформирования легированных конструкционных сталей и жаропрочных сплавов (состав, в % (весовых): Fe ≈ 87, С 0,3–0,4, Si 0,15–0,4, Mn 0,15–0,4, Cr 2,2–2,7, W 7,5–8,5, V 0,2–0,5, Mo до 0,5).

Порошковая смесь засыпалась в тигель вместе с исследуемыми образцами, далее тигель упаковывался и герметизировался сверху плавким затвором. Охлаждение тиглей проводилось на открытом воздухе при комнатной температуре. Далее тигли вскрывались, образцы зачищались от остатков насыщающей смеси.

ЭПЛ проводили в установке «СОЛО» (рис. 1, а) с источником электронов с плазменным катодом на основе дугового разряда низкого давления [12, 13] в Институте сильноточной электроники СО РАН. На рис. 1, б показана структурная схема обработки образцов в импульсной электронно-пучковой установке [14].

На поверхность образца наносилась насыщающая паста толщиной 0,2 мм из карби-

да бора, предварительно замешанном на органическом связующем (БФ-4).

ЭПЛ производилась в среде аргона при давлении в вакуумной камере 35 МПа в магнитном поле величиной до 100 мТл. Энергия электронов в процессе обработки достигала 18 кэВ, диаметр пучка электронов 3 см.

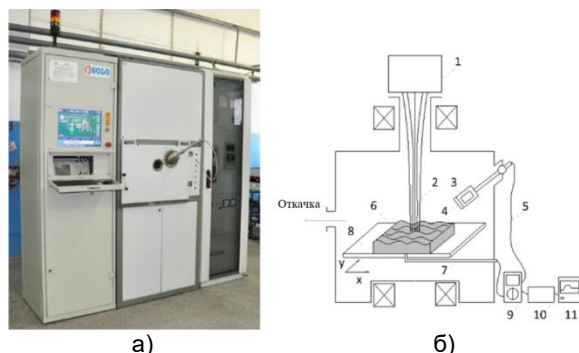


Рисунок 1 – Внешний вид установки «СОЛО» (а) и схема обработки образцов (б): 1 – источник электронов; 2 – электронный пучок; 3 – объектив; 4 – кварцевое стекло; 5 – оптоволоконный кабель; 6 – образец; 7 – термопара; 8 – стол-манипулятор; 9 – мультиметр; 10 – высокоскоростной инфракрасный пирометр; 11 – осциллограф

Figure 1 – Appearance of the SOLO installation (a) and sample processing scheme (b): 1 - electron source; 2 - electron beam; 3 - lens; 4 - quartz glass; 5 - fiber-optic cable; 6 - sample; 7 - thermocouple; 8 - manipulator table; 9 - multimeter; 10 - high-speed infrared pyrometer; 11 - oscilloscope

Ток разряда изменяли в течение импульса длительностью 1 мс, в пределах 30–110 А таким образом, чтобы температура на поверхности образца через 200 мкс после начала воздействия удерживалась ~2000 °С. Поверхность образцов подвергали двенадцати импульсам воздействия, интервал времени между которыми составлял 3 секунды. Типовая осциллограмма электронно-пучкового воздействия представлена на рисунке 2.

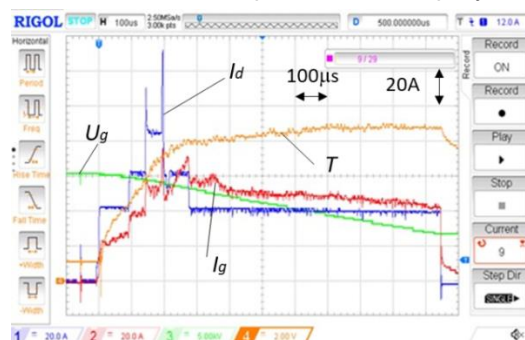


Рисунок 2 – Осциллограмма электронно-пучкового легирования:  $I_d$ , 20 А/деление,  $I_g$ , 20 А/деление,  $T[°C] = 333+410 \times N_{кл.}$ , масштаб  $U_g - 5$  кВ/деление, развертка – 100 мкс/деление

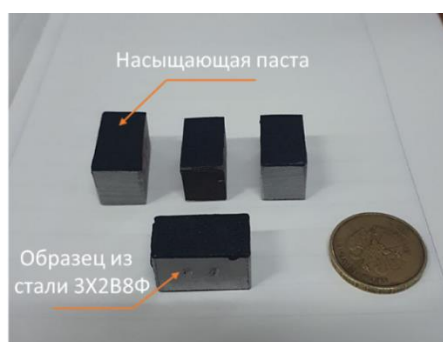
Figure 2 – Electron beam doping waveform:  $I_d$ , 20 A/division,  $I_g$ , 20 A/division,  $T[°C] = 333+410 \times N_{кл.}$ , scale  $U_g - 5$  kV/division, scan - 100 microseconds/division

Металлографический анализ проводили на оптическом микроскопе «МЕТАМ РВ-34» с цифровой камерой «Altami Studio». Состав и структуру диффузионного слоя определяли на растровом электронном микроскопе JSM-6510LV JEOL (Япония) с системой микроанализа INCA Energy 350, Oxford Instruments (Великобритания) в Центре коллективного пользования «Прогресс» ФГБОУ ВО Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. Определение микротвердости насыщенных слоев осуществлялось на микротвердомере ПМТ-3М с нагрузкой 50 гр. Снимки микроструктур были сделаны с помощью металлографического микроскопа «МЕТАМ РВ-34» с цифровой камерой «Altami Studio» (Россия).

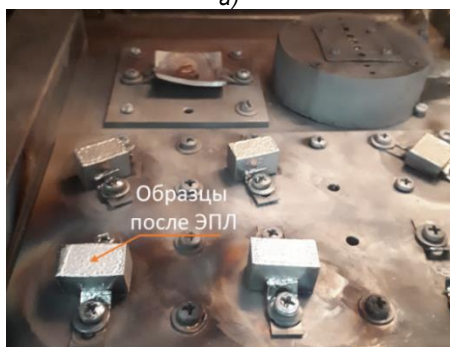
### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Процесс борирования проводился на образцах стали 3Х2В8Ф при температуре 1050 °С с выдержкой 2 ч.

На рис. 3 представлены фотографии образцов исследуемой стали после нанесения насыщающей пасты перед обработкой электронным пучком и после процесса ЭПЛ. Образцы после ЭПЛ имеют ровную глянцевую поверхность.



а)



б)

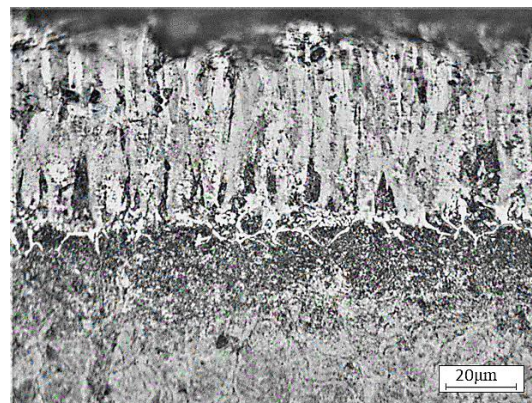
Рисунок 3 – Внешний вид образцов: а) после нанесения насыщающей пасты; б) после ЭПЛ

Figure 3 – Appearance of the samples: a) after applying the saturating paste, b) after EPL

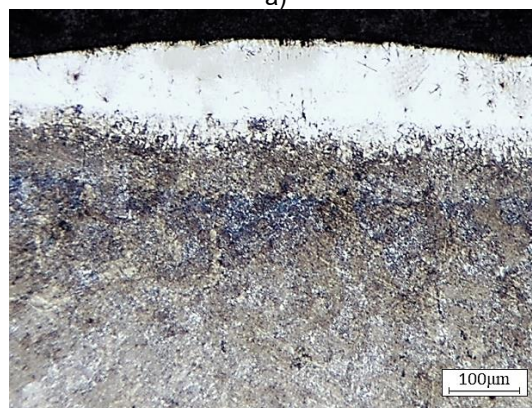
На рисунке 4, а представлена микрофотография структуры образца после ХТО. На данном рисунке отчетливо видна характерная для борированных слоев игольчатая структура и переходная зона. У боридных игл наблюдаются примыкающие от-

ки. Наиболее вероятно, это карбоборидная фаза из-за насыщения оттесненным в процессе диффузии бора углеродом. Толщина полученного диффузионного слоя после ХТО составляет ~60 мкм.

На рисунке 4, б представлена микрофотография структуры после ЭПЛ. Получен сплошной светлый слой толщиной до 130 мкм. Под слоем наблюдается переходная зона. Микроструктура полученного покрытия имеет мелкозернистую структуру со сферическими кристаллами размером до 5 мкм.



а)



б)

Рисунок 4 – Микроструктуры боридных слоев: а) после ХТО; б) после ЭПЛ

Figure 4 – Microstructures of boride layers: а) after CTO, б) after EPL

Максимальная микротвердость боридных слоев составила 1120HV и 1015HV на после ХТО и ЭПЛ соответственно (рис. 5). Причем на ХТО данные значения достигаются на глубине 20–30 мкм от поверхности, а после ЭПЛ максимальная микротвердость – на глубине 50–60 мкм. После процесса борирования на сталях обычно наблюдается краевой эффект с высокой хрупкостью поверхностного слоя из-за высокой концентрации фазы FeV, поэтому занижаются реальные значения микротвердости. Профиль микротвердости после ХТО изменяется скачкообразно (рис. 5, а), на границе с основным металлом значения резко снижаются до микротвердости основного металла 320–340 HV. После ЭПЛ профиль микротвердости характеризуется



## БОРИРОВАНИЕ СТАЛИ 3Х2В8Ф ДИФфуЗИОННЫМ И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

более равномерным распределением по глубине слоя (рис. 5, б). Такое распределение является результатом наличия развитой переходной зоны и способствует плавному распределению остаточных напряжений и повышенной адгезии, что положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках защитных слоев [15].

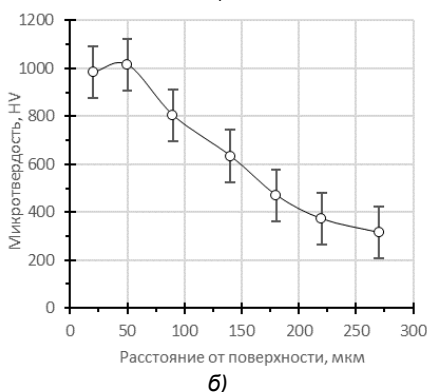
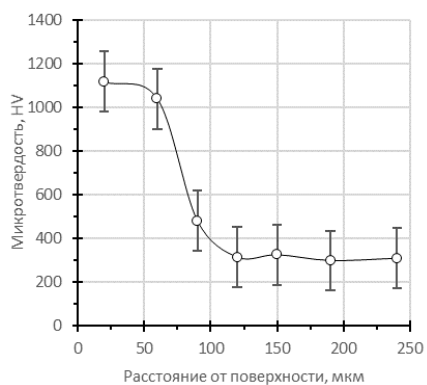


Рисунок 5 – Распределение микротвердости по глубине слоя после: а) после ХТО; б) после ЭПЛ

Figure 5 – Distribution of microhardness over the depth of the layer after: a) after CTO, b) after EPL

Рентгеноспектральный микроанализ показал (рис 6), что максимальное содержание бора

Таблица 1 – Элементный состав стали 3Х2В8Ф после ХТО при 1050 °С, % вес.

Table 1 – Elemental composition of 3X2V8F steel after CTO at 1050 °C, % weight

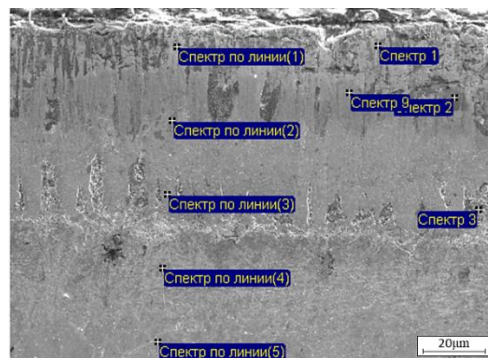
Спектр	B	C	V	Cr	Fe	W
Спектр 1	10.45	4.52	–	4.05	65.41	13.04
Спектр 2	10.84	5.08	–	11.33	68.93	3.82
Спектр 3	3.14	3.98	–	6.63	80.68	2.80
Спектр по линии (1)	11.84	3.77	0.59	10.69	71.54	2.16
Спектр по линии (2)	1.74	4.81	0.55	11.28	71.76	9.86
Спектр по линии (3)	3.26	5.47	0.41	10.42	74.21	6.63
Спектр по линии (4)	–	7.30	0.39	13.55	77.37	1.78
Спектр по линии (5)	–	7.45	0.51	10.45	76.69	5.41
Спектр 9	–	3.74	–	12.84	77.61	5.82

Таблица 2 – Элементный состав стали 3Х2В8Ф после ЭПЛ, % вес.

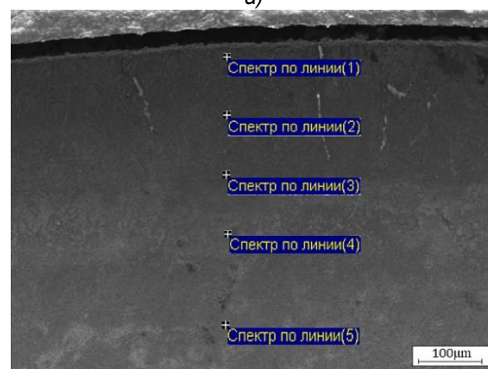
Table 2 – Elemental composition of 3X2V8F steel after EPL, % weight

Спектр	B	C	V	Cr	Fe	W
Спектр по линии (1)	5.1	4.32	–	8.21	78.59	1.54
Спектр по линии (2)	2.1	3.91	–	9.6	72.7	13.4
Спектр по линии (3)	2.1	4.01	–	7.9	82.00	3.03
Спектр по линии (4)	–	7.01	–	11.1	79	2.89
Спектр по линии (5)	–	6.4	–	10.77	74.31	8.52

на стали 3Х2В8Ф после ХТО составляет 11,84 % в спектре по линии 1 на глубине 30 мкм от поверхности, а на образце после ЭПЛ – 5,1 % в спектре по линии 1. Более высокая концентрация бора на образце после ХТО может свидетельствовать о высоком содержании борида FeВ в диффузионном слое.



а)



б)

Рисунок 6 – Изображение участков анализа во вторичных электронах на стали 3Х2В8Ф: а) после ХТО; б) после ЭПЛ

Figure 6 – Image of the analysis sites in secondary electrons on 3X2V8F steel: a) after CTO, b) after EPL

Образцы после ХТО и ЭПЛ были направлены на РФА для определения фазового состава поверхностного диффузионного слоя, а также по глубине полученного слоя. На рис. 7 представлена рентгенограмма: после борирования на поверхности образуются фазы FeB и Fe<sub>2</sub>B. На глубине 20 мкм от поверхности появляется фаза α-Fe. На глубине 50 мкм идентифицируются фазы FeB, Fe<sub>2</sub>B и α-Fe.

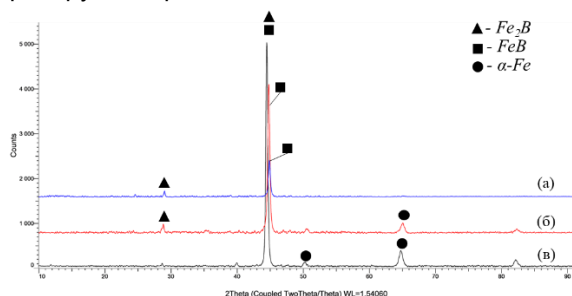


Рисунок 7 – Рентгенограмма образцов после ХТО: а) на поверхности; б) на глубине 20 мкм; в) на глубине 50 мкм

Figure 7 – X-ray of samples after CTO: a) on the surface, b) at a depth of 20 microns, c) at a depth of 50 microns

На рисунке 8 представлена рентгенограмма после ЭПЛ, на поверхности образуются фазы FeB и Fe<sub>2</sub>B. На глубине 60 мкм от поверхности появляется фаза α-Fe. На глубине 120 мкм идентифицируются фазы FeB, α-Fe.

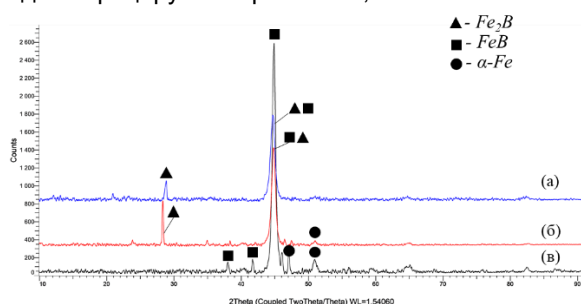


Рисунок 8 – Рентгенограмма образцов после ЭПЛ: а) на поверхности; б) на глубине 60 мкм; в) на глубине 120 мкм

Figure 8 – X-ray of samples after EPL: a) on the surface; b) at a depth of 60 microns; c) at a depth of 120 microns

## ВЫВОДЫ

Легирование электронным пучком приводит к формированию более протяженного по глубине боридного слоя за короткий промежуток времени. В результате легирования на поверхности стали 3Х2В8Ф получены боридные слои толщиной до 60 мкм и 130 мкм после ДБ и ЭПЛ соответственно, состоящие из боридов железа. Микротвердость слоев после обоих процессов сопоставима. Таким образом, ЭПЛ может быть использовано для формирования боридных слоев.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошнин, Л.Г. Теория и технология химико-термической обработки : учеб. пособие / Л.Г. Ворошнин, О.Л. Менделеева, В.А. Сметкин. М. : Новое знание, 2010. 304 с.

2. Atul S.C., Adalarasan R., Santhanakumar M. Study on slurry paste boronizing of 410 martensitic stainless steel using taguchi based desirability analysis (TDA) // International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering. 2015. Vol. 5. P. 64–77. DOI: 10.4018/IJMMME.2015070104.

3. Nakajo H, Nishimoto A. Boronizing of CoCr FeMnNi High-Entropy Alloys Using Spark Plasma Sintering // Journal of Manufacturing and Materials Processing. 2022. Vol. 6. 29. DOI: 10.3390/jmmp6020029.

4. Цих С.Г., Красуля А.А. Инновации в процессах борирования. Арматуростроение. 2021. № 5 (134). С. 54–59.

5. Raden Dadan Ramdan, Tomohiro Takaki, Kisaragi Yashiro, Yoshihiro Tomita. The Effects of Structure Orientation on the Growth of Fe<sub>2</sub>B Boride by Multi-Phase-Field Simulation, MATERIALS TRANSACTIONS, 2010, Volume 51, Issue 1, Pages 62–67, 2009. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2009227>.

6. Mertgenç E., Kayali Y. 2023. Diffusion kinetics and boronizing of high entropy alloy produced by TIG melting reverse suction method. Canadian Metallurgical Quarterly 62, 362–371. DOI: 10.1080/00084433.2022.2082203.

7. Sizov I.G., Smirnyagina N.N., Semenov A.P. The structure and properties of boride layers obtained as a result of electron-beam chemical-thermal treatment. Metal Science and Heat Treatment, 2001, vol. 11, pp. 45–46.

8. Повышение электрической прочности ускоряющего зазора в источнике электронов с плазменным катодом / В.И. Шин, П.В. Москвин, М.С. Воробьев, В.Н. Девятков, С.Ю. Дорошкевич, Н.Н. Коваль // Приборы и техника эксперимента. 2021. № 2. С. 69–75. DOI: 10.31857/S0032816221020191.

9. Разработка физических основ комплексного электронно-ионно-плазменного инжиниринга поверхности материалов и изделий / Ю.Ф. Иванов, Н.Н. Коваль, Е.А. Петрикова, О.В. Крысина, В.В. Шугуров, Ю.Х. Ахмадеев, И.В. Лопатин, А.Д. Тересов, О.С. Толкачев. Гл. 1. С. 5–35. // Научные технологии в проектах РФ. Сибирь / под ред. С.Г. Псахье, Ю.П. Шаркеева. Томск : Изд-во НТЛ. 2017. 428 с. ISBN 978-5-89503-607-5.

10. Эволюция структуры поверхностного слоя стали, подвергнутой электронно-ионно-плазменным методам обработки / Под ред. Н.Н. Ковалья, Ю.Ф. Иванова. Томск : Изд-во НТЛ, 2016. 298 с. ISBN 978-5-89503-577-1.

11. Devyatkov V.N. Generation and propagation of high-current low-energy electron beams / V.N. Devyatkov, N.N. Koval, P.M. Schanin [et al.] // Laser and Particle Beams. 2003. Vol. 21, No. 2. P. 243–248. DOI: 10.1017/S026303460321212X.

12. Григорьев С.В. Электронно-пучковая установка "СОЛО-М" для модификации поверхности металлических и металлокерамических материалов // С.В. Григорьев, В.Н. Девятков, А.В. Миков [и др.] // Известия вузов. Физика. 2014. Т. 57, № 11–3. С. 58–62.

13. Devyatkov V.N. Equipment and processes of vacuum electron-ion plasma surface engineering / V.N. Devyatkov, Y.F. Ivanov, O.V. Krygina [et al.] // Vacuum. 2017. Vol. 143. P. 464–472. DOI: 10.1016/j.vacuum.2017.04.016.

## БОРИРОВАНИЕ СТАЛИ 3Х2В8Ф ДИФФУЗИОННЫМ И ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

14. Шин В.И. Широтная и амплитудная модуляция тока пучка для управления его мощностью в течение импульса субмиллисекундной длительности / В.И. Шин, М.С. Воробьев, П.В. Москвин [и др.] // Известия вузов. Физика. 2022. Т. 65, № 11(780). С. 176–184. DOI: 10.17223/00213411/65/11/176.

15. Оценка структурно-фазового и напряженного состояния диффузионных боридных слоев, полученных химико-термической обработкой, на поверхности штамповой стали 3Х2В8Ф / У.Л. Мишигдоржийн, Н.С. Улаханов, А.Г. Тихонов, П.А. Гуляшинов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2021. Т. 23, № 2. С. 147–162. DOI: 10.17212/1994-6309-2021-23.2-147-162.

### Информация об авторах

У. Л. Мишигдоржийн – кандидат технических наук, зав. лаб., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук» (ИФМ СО РАН).

П. А. Гуляшинов – кандидат технических наук, научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук» (БИП СО РАН).

Н. С. Улаханов – младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук» (ИФМ СО РАН).

С. А. Лысых – младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук» (ИФМ СО РАН).

П. В. Москвин – младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт сильноточ-

ной электроники Сибирского отделения Российской академии наук» (ИСЭ СО РАН).

М. С. Воробьев – доктор технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук» (ИСЭ СО РАН).

### Information about the authors

U.L. Mishigdorjin - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IFM SB RAS).

P.A. Gulyashinov - Candidate of Technical Sciences, Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science Baikal Institute of Environmental Management of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Academy of Sciences (BIP SB RAS).

N.S. Ulakhanov - junior researcher, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IFM SB RAS).

S.A. Lysykh - junior researcher, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IFM SB RAS).

P.V. Moskvin - junior researcher at the Federal State Budgetary Institution of Science, Institute of High-Current Electronics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISE SB RAS).

M.S. Vorobyov - Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of High-Current Electronics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISE SB RAS).

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

Статья поступила в редакцию 12 апреля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 12 Apr 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.



Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК669.715

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.023

 EDN: LSESWH

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА AA7075, ПОЛУЧЕННОГО АДДИТИВНЫМ СПОСОБОМ

Владислав Константинович Дробышев<sup>1</sup>, Ирина Алексеевна Панченко<sup>2</sup>,  
Сергей Валерьевич Коновалов<sup>3</sup>, Дмитрий Николаевич Лабунский<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

<sup>1</sup> drobyshev\_v.k@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1532-9226>

<sup>2</sup> i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-0000>

<sup>3</sup> ksv@ssau.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

<sup>4</sup> info@kana-t.ru

**Аннотация.** Повышение прочностных свойств поверхностных слоев легких металлов и сплавов, таких как алюминиевые сплавы системы Al-Zn-Mg, является достаточно актуальным в настоящее время, это связано с широким применением данных сплавов в автомобилестроении и авиакосмической промышленности. С постоянным ростом требований к изготавливаемым деталям может стать решение освоения новых технологий производства изделий, таких как аддитивное производство. Как известно, чем выше прочностные и трибологические свойства поверхности детали или изделия, тем более эффективно оно сопротивляется внешним нагрузкам в процессе эксплуатации. Технология проволочно-дугового аддитивного производства является высокоэффективным и недорогим методом получения крупногабаритных и сложных структур, и данный метод можно использовать для упрочнения поверхности изготавливаемых деталей. Дальнейшее исследование осуществлялось по режиму наплавки № 2, усталостная долговечность которого на 7,3 % выше, чем у образцов, полученных по режиму наплавки № 1. Проведение испытаний на растяжение, нанотвердости и исследования структуры осуществлялось в различных слоях полученной заготовки. Предел прочности образцов в средней области составил 126 МПа, что на 35 % больше по сравнению с образцами с нижней области. В областях с более высокой скоростью охлаждения за счет межслоевого охлаждения значение нанотвердости повышалось до  $2,3 \pm 0,3$  ГПа. Также стоит отметить, что в средней области исследуемой заготовки присутствует больше зон твердости, чем в верхних и нижних областях, что указывает на образование твердых фаз.

**Ключевые слова:** алюминиевый сплав 7075, технология проволочно-дугового аддитивного производства, нанотвердость, предел прочности, усталостная долговечность.

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10245, <https://rscf.ru/project/22-79-10245/>.

**Для цитирования:** Исследование механических свойств сплава AA7075, полученного аддитивным способом. / В. К. Дробышев [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 156–160. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.023, EDN: <https://elibrary.ru/LSESWH>.

Original article

## STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF AA7075 ALLOY PRODUCED BY ADDITIVE METHOD

Vladislav K. Drobyshev<sup>1</sup>, Irina A. Panchenko<sup>2</sup>, Sergei V. Konovalov<sup>3</sup>,  
Dmitry N. Labunsky<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

<sup>1</sup> drobyshev\_v.k@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1532-9226>

<sup>2</sup> i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-0000>

<sup>3</sup> ksv@ssau.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

<sup>4</sup> info@kana-t.ru

© Дробышев В. К., Панченко И. А., Коновалов С. В., Лабунский Д. Н., 2024



## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА AA7075, ПОЛУЧЕННОГО АДДИТИВНЫМ СПОСОБОМ

**Abstract.** Increasing the strength properties of surface layers of light metals and alloys, such as aluminum alloys of the Al-Zn-Mg system, is quite relevant at the present time, this is due to the widespread use of these alloys in the automotive and aerospace industries. With the constant increase in requirements for manufactured parts, a solution may be to master new technologies for producing products, such as additive manufacturing. As is known, the higher the strength and tribological properties of the surface of a part or product, the more effectively it resists external loads during operation. Wire-arc additive manufacturing technology is a highly efficient and inexpensive method for producing large and complex structures and this method can be used to harden the surface of manufactured parts. Further research was carried out using surfacing mode № 2, the fatigue life of which is 7.3% higher than that of samples obtained using surfacing mode № 1. Tensile tests, nanohardness tests and structure studies were carried out in various layers of the resulting workpiece. The tensile strength of the samples in the middle region was 126 MPa, which is 35% more than the samples from the lower region. In areas with a higher cooling rate due to interlayer cooling, the nanohardness value increased to  $2.3 \pm 0.3$  GPa. It is also worth noting that in the middle region of the workpiece under study there are more zones of hardness than in the upper and lower regions, which indicates the formation of solid phases.

**Keywords:** Aluminum alloy 7075, wire-arc additive manufacturing technology, nanohardness, tensile strength, fatigue life.

**Acknowledgments:** This study is funded by a grant of the Russian Science Foundation, project 22-79-10245. <https://rscf.ru/en/project/22-79-10245/>.

**For citation:** Drobyshev, V.K., Panchenko, I.A., Konovalov, S.V. & Labunsky, D.N. (2024). Study of mechanical properties of aa7075 alloy produced by additive method. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 156-160. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.023, EDN: <https://elibrary.ru/LSESWH>.

### ВВЕДЕНИЕ

Повышение прочностных свойств поверхностных слоев легких металлов и сплавов, таких как алюминиевые сплавы системы Al-Zn-Mg [1–2], является достаточно актуальным в настоящее время [3], это связано с широким применением данных сплавов в автомобилестроении [4–6] и авиакосмической промышленности [7–9]. Требования к изготавливаемым деталям постоянно растут. Решением может стать освоение новых технологий производства деталей, такое как аддитивное производство. Как известно, чем выше прочностные и трибологические свойства поверхности детали или изделия, тем более эффективно оно сопротивляется внешним нагрузкам в процессе эксплуатации.

Аддитивное производство проволоочной дуги – это метод, используемый для производства сплава без учета влияния человеческого фактора, предлагается в качестве превосходной альтернативы другим методам, таким как плавление в вакууме, плазменно-дуговое плавление, селективное лазерное плавление или электронно-лучевое плавление [10]. Технология проволоочно-дугового аддитивного производства (WAAM), включая сплавление в порошковым слое (PBF), прямое энергетическое осаждение (DED), экструзию материалов (ME) и струйную обработку связующего (BJ), используется для изготовления компонентов с хорошей точностью размеров и качеством поверхности [11]. Было показано, что WAAM является высокоэффективным и недорогим методом получения

крупногабаритных и сложных структур и данный метод можно использовать для упрочнения поверхности изготавливаемых деталей.

Детали из алюминиевого сплава Al-Zn-Mg-Cu обладают многими преимуществами, что делает их идеальными для использования в различных отраслях промышленности. Они обеспечивают приемлемую механическую прочность и износостойкость, а также обладают легкостью и экономически выгодны при производстве с использованием аддитивных технологий.

Рассмотрим процесс изменения зависимости механических свойств таких, как нанотвердость предел прочности, текучести, усталостная долговечность образцов из сплава AA7075 в зависимости от режимов получения заготовки и области исследования.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Для изготовления образцов методом аддитивной технологии использовалась проволока диаметра 1,2 мм следующего химического состава (масс. %): 0,04–0,05 Si; 0,09–0,10 Fe; 0,3 Mn; 1,60–1,77 Cu; 2,49–2,51 Mg; 0,18 Cr, 6,02–6,10 Zn; 0,02 Ti; Al – остальное. Данный состав соответствует сплаву 7075 (AlZn5, 5MgCu) по ГОСТ 4784-2017. Было подобрано несколько режимов работы наплавочного комплекса. Толщина подложки из алюминия, на которую наносили аддитивную наплавку, составляла 7 мм. Режимы наплавки имели следующие параметры; 1 режим: скорость подачи проволоки 6,1 м/мин, напряжение 16,1 В, скорость движения горелки – 0,2 м/мин, сила тока 130–140 А, расход газа Ar 17,5 л/мин; 2 режим: скорость подачи проволоки 5 м/мин, напряжение 15,5 В, скорость движения горелки – 0,2 м/мин, сила

тока 130–140 А, расход газа Ar – 13 л/мин.

Для проведения механических испытаний из объемной заготовки размера 150x200x30 мм были изготовлены с помощью электроэрозионного проволочно-вырезного станка струйного типа ДК7732 М11 плоские образцы для растяжения в виде двухсторонних лопаток (длина 48 мм, ширина лопаток 14 мм, ширина рабочей области – 9 мм, толщина – 2,4 мм) (рис. 1, а). Для испытаний на усталостную долговечность образцы имели форму параллелепипеда размерами 4x12x130 мм с двумя концентраторами напряжений в виде полукруга радиусом 20 мм (рис. 1, а).

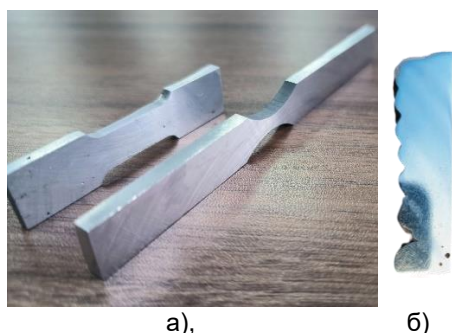


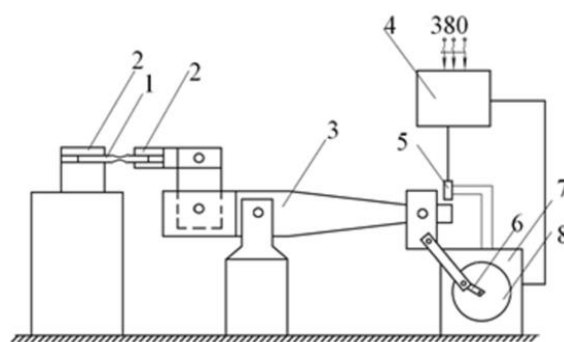
Рисунок 1 – Внешний вид образцов сплава AA7075 для механических испытаний

Figure 1 – Appearance of AA7075 alloy samples for mechanical testing

Механические испытания сплава AA7075 осуществляли путем одноосного растяжения образцов на испытательной машине «UBRAMAX PM BC-50-A-1-02-II» с постоянной скоростью 1,25 мм/мин. Одноосному растяжению подвергались образцы сплава AA7075, полученного аддитивным способом с использованием различных режимов наплавки.

Проведение испытаний на усталость осуществлялось на специальной установке по схеме циклического асимметричного консольного изгиба, внешний вид которой приведен на рисунке 3. Образец закрепляется зажимами. Один конец образца остается неподвижным, а к другому прикладывается знакопеременная нагрузка. Изгиб осуществляется с помощью рычажного механизма, который соединяется с валом. При помощи эксцентрика можно изменять амплитуду напряжений. Вал приводится во вращение с помощью электродвигателя. Фотодатчик используется для регистрации числа циклов нагружения. Изменяя напряжение, подаваемое на обмотку электродвигателя, можно изменять частоту вращения двигателя. Во время испытаний определялось число циклов, которые образцы выдерживали до разрушения. Температура испытаний во всех случаях была комнатной (~300 К). Частота нагружений образцов изгибом составляла ~ 3,3 Гц. Чтобы образец до разрушения выдерживал не менее 105 циклов нагружения, экспериментально подбирали верхнее значение напряжения цикла нагрузки и амплитуды нагружения.

158



1 – образцы; 2 – устройство для закрепления образца; 3 – рычажный механизм; 4 – система управления, включающая в себя: блок управления частотой вращения двигателя и счетчик числа циклов; фотодатчик – 5; эксцентрик – 6; двигатель – 7; вал – 8

Рисунок 2 – Принципиальная схема установки для усталостных испытаний

Figure 2 – Schematic diagram of the installation for fatigue testing

Для измерения инструментальной твердости полученного образца алюминиевого сплава AA7075 (рис. 1, б) использовался прибор «Наноскан-4D» в соответствии со стандартами ISO 14577 и ГОСТ Р 8.748-2011 с использованием алмазной трехгранной пирамидки Берковича, нагрузка составила 25 мН расстояние между отпечатками 40 мкм.

Изучение элементного и фазового состава, дефектной субструктуры образцов системы, подвергнутых облучению электронным пучком, проводили методами сканирующей электронной микроскопии [12–14].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования установлено, что сплав AA7075, полученный по режиму 1 и подвергнутый испытаниям в условиях многоциклового усталости, разрушается в среднем через 218000 циклов после приложения асимметричной нагрузки с частотой ~3,8 циклов/с. Максимальное значение числа циклов до разрушения, которое выдержал образец, было получено по второму режиму и составило 235000 циклов. Использование различных параметров при наплавке аддитивным способом приводит к немонотонному изменению усталостной долговечности сплава. Повышение усталостной долговечности может быть связано за счет образования крупных зерен. Также в работе [15] основной характеристикой распространения усталостных трещин было пластическое разрушение, сопровождавшееся многочисленными вторичными трещинами и редкими усталостными полосами.

Поэтому дальнейшие исследования будут проведены с использованием режима наплавки № 2. Анализ механических свойств показал, что предел прочности при растяжении (рисунок 3) и относительное удлинение в образцах, вырезанных из области около подложки, составляет

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА АА7075, ПОЛУЧЕННОГО АДДИТИВНЫМ СПОСОБОМ

97 МПа, относительное удлинение 1,4 %. Предел прочности образцов, вырезанных из области посередине заготовки, составляет 126 МПа, а относительное удлинение 1,2 %; вырезанных из области на краю заготовки, составляет 122 МПа, а относительное удлинение – 3,1 %.

Благодаря полученной информации можно сделать предположение о повышенных механических свойствах образцов, находящихся в средней области полученной заготовки в связи с изменениями его структурных свойств.

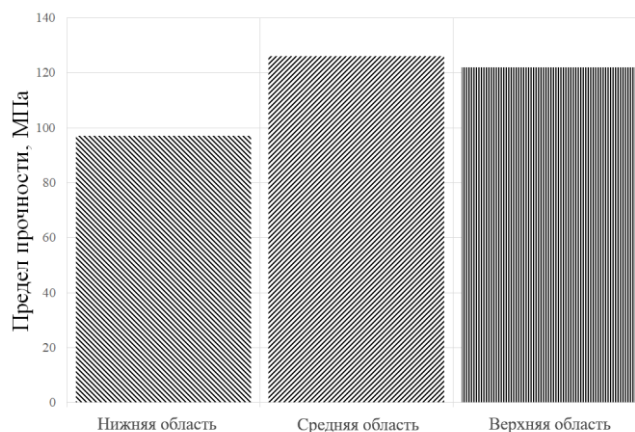


Рисунок 3 – Предел прочности образцов после испытания на растяжение

Figure 3 – Ultimate strength of samples after tensile testing

Нанотвердость изготовленного образца из сплава измерялась послойно по высоте наплавочного материала и представлена на рисунке 4. Видно, что нанотвердость верхнего слоя оказалась равной  $2,28 \pm 0,3$  ГПа.

С увеличением ширины слоя твердость детали снижалась. Установлено, что нанотвердость среднего слоя находится в пределах 2,1–

2,3 ГПа. За счет более высоких скоростей промежуточного охлаждения в средней области нанотвердость компонентов была выше, чем в нижней и верхней области. Тем самым в средней области присутствует больше зон твердости, чем в верхних и нижних областях, что указывает на образование твердых фаз.



Рисунок 4 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности алюминиевого сплава 7075 и нанотвердость в зависимости от глубины заготовки

Figure 4 – Electron microscopic image of the surface of aluminum alloy 7075 and nanohardness depending on the depth of the workpiece

Методами сканирующей микроскопии было установлено, что исследуемый материал содержит небольшое количество пор, возникших при его производстве. Размер пор в некоторых случаях составлял около 100 мкм и был изучен в работе [15]. Такие поры в основном обнаружены в слое материала, примыкающем к подложке.

Анализ элементного состава показал, что

независимо от расстояния от подложки содержания химических элементов распределены равномерно, а именно показал следующее распределение элементов в сплаве: (масс. %): 0,2 Si; 0,27 Fe; 0,47 Mn; 2,8 Cu; 2,15 Mg; 0,18 Cr; 6,84 Zn; 0,01 Ti; Al – остальное. Небольшое отличие элементного состава от состава исходной проволоки может быть связан с особенностями технологии

формирования аддитивного материала AA7075, а именно: при нанесении слоев было выявлено разбрызгивание присадочного материала.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно отметить, что разностороннее изучение характеристик сплава AA7075, полученного с использованием аддитивных технологий и изученного методами современного физического материаловедения, выявило значительные преобразования как качественные, так и количественные.

1. Установлено, что усталостная долговечность образцов, полученных по второму режиму, на 7,3 % выше, чем у образцов, полученных по режиму наплавки № 1. Это произошло за счет образования крупных зерен. Основной характеристикой распространения усталостных трещин было пластическое разрушение, сопровождавшееся многочисленными вторичными трещинами и редкими усталостными полосами.

2. В процессе механических испытаний были получены значения предела прочности. Предел прочности образцов в средней области составил 126 МПа, что на 35 % больше по сравнению с образцами с нижней области. Изменение предела прочности сплава предположительно связано с изменениями его структурных свойств.

3. Установлено влияние температурного градиента скоростей охлаждения на нанотвердость сплава в областях с более высоким температурным градиентом за счет межслоевого охлаждения, что привело к повышению нанотвердости до  $2,3 \pm 0,3$  ГПа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Otani B. Silumin and its structure. J. Inst. Met. 2021. 36.
2. Geng, Y., Panchenko, I., Chen, X., Ivanov, Y., Konovalov, S. Wire arc additive manufacturing Al-5.0 Mg alloy: microstructures and phase composition. Mater Charact 187, 111875 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2022.111875>.
3. Marukovich, E., Stetsenko, V. // Lityoi Metallurgiya. 2018. p. 12-15.
4. Anantha Padmanaban, D., Kurien, G. Advanced Materials and Processes. 2012. 170. 28-30.
5. Goenka, M., Nihal, Ch., Ramanathan, R., Gupta, P., Parashar A., Joel J. // Materials Today: Proceedings. № 22. p. 2525-2531.
6. Javidani, M., Larouche, D. // International Materials Reviews. 2014. V. 59. No. 3. Pp. 132-158.
7. Robles-Hernández, F., Herrera Ramirez, J. Al-Si Alloys. R. 2017 10.1007/978-3-319-58380-8.8.
- 8 Zhang, X., Li, S., Pan, B., Pan, D., Liu, L., Hou, X., Chu, M., Kondoh, K, Zhao, M. Regulation of interface between carbon nanotubes/aluminum and its strengthening effect in CNTs reinforced aluminum matrix nanocomposites // Carbon N Y/ 2019. 155. P. 686-696. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.09.016>.
9. Alekseev, A.V., Yesikov, M.A., Strekalov, V.V., Mali, V.I., Khasin, A.A., Predtechensky, M.R. Effect of single wall carbon nanotubes on strength properties of aluminum composite produced by spark plasma sintering and extrusion // Mate-

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 18 января 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 18 Jan 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*

rials Science and Engineering A. 2020. 793 P. 139746. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139746>.

10. Zavadoveev, A.V. (2023). Non-equimolar Cantor high entropy alloy fabrication using metal powder cored wire arc additive manufacturing. Additive manufacturing letters, 6:100124-100124. doi: 10.1016/j.addlet.2023.100124.

11. Tomer, Ron., A., Shirizly., Eli, Aghion. (2023). Additive Manufacturing Technologies of High Entropy Alloys (HEA): Review and Prospects. Materials, 16(6): 2454-2454. doi: 10.3390/ma16062454.

12. Inkson, B.J. // Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods / K. Dos Santos (Ed.). Elsevier Ltd, 2016. pp. 17-43.

13. Primig, S., Theska, F., Haghdadi, N. Electron Microscopy Methods. 2020. 10.1016/B978-0-12-819726-4.00031-4.

14. Kuo, J. Electron Microscopy: Methods and Protocols. 2014. 10.1007/978-1-62703-776-1.

15. Panchenko, I., Gudala, S., Labunskii, D. [et al.]. Microstructural evolution and the effect of electron beam melting on the fatigue characteristics of 7075 Al alloy deposited by MIG arc additively manufacturing. Int J Interact Des Manuf (2024). <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01729-3>.

### Информация об авторах

*В. К. Дробышев – научный сотрудник лаборатории электронной микроскопии и обработки изображений Сибирского государственного индустриального университета.*

*И. А. Панченко – кандидат технических наук, заведующий лабораторией электронной микроскопии и обработки изображений Сибирского государственного индустриального университета.*

*С. В. Коновалов – доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Сибирского государственного индустриального университета.*

*Д. Н. Лабунский – соискатель ученой степени кандидата наук, Сибирского государственного индустриального университета.*

### Information about the authors

*D.N. Labunskiy - applicant for the degree of candidate of sciences of the Siberian State Industrial University.*

*I.A. Panchenko - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Electron Microscopy and Image Processing.*

*S.V. Konovalov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector on Science and Innovation at the Siberian State Industrial University; Chief Researcher of Samara National Research University.*

*V.K. Drobyshev - Junior Researcher of the Laboratory Electron Microscopy and Image Processing of the Siberian State Industrial University.*

*D.A. Bessonov - is a senior researcher at the Siberian State Industrial University.*



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)  
УДК 620.179.16

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.024

EDN: YJRQOH

## СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПОЛИМЕРАХ И ИХ РАСПЛАВАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Роман Владиславович Барсуков<sup>1</sup>, Роман Николаевич Голых<sup>2</sup>,  
Александр Романович Барсуков<sup>3</sup>, Алексей Николаевич Сливин<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск, Россия

<sup>1</sup> roman@bti.secna.ru

<sup>2</sup> grn@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7708-0665>

<sup>3</sup> barsukov.ar@bti.secna.ru

<sup>4</sup> san@bti.secna.ru

**Аннотация.** Статья посвящена разработке экспериментального стенда, предназначенного для изучения кавитационных явлений, возникающих в расплавах полимеров. В основе работы стенда лежит получение и анализ спектра акустической эмиссии (в звуковом диапазоне) области непосредственного контакта ультразвукового излучателя и расплава полимера. Получены пробные спектры при воздействии на газ, жидкость и расплав этилвинилацетата. Разработанный стенд позволит изучить и максимально раскрыть потенциал ультразвуковой сварки полимеров, в частности, позволит выработать методы эффективной реализации процесса сварки разнородных материалов.

**Ключевые слова:** ультразвук, кавитационные явления, сварка, полимеры, воздействие на вещество, интенсификация диффузии.

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-00314, <https://rscf.ru/project/24-22-00314/>.

**Для цитирования:** Стенд для исследования кавитационных явлений в полимерах и их расплавах при воздействии на них ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности / Р.В. Барсуков [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 161–166. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.024, EDN: <https://elibrary.ru/YJRQOH>.

Original article

## STAND FOR STUDYING CAVITATION PHENOMENA IN POLYMERS AND THEIR MELTS UNDER THE INFLUENCE OF HIGH INTENSITY ULTRASONIC OSCILLATIONS

Roman V. Barsukov<sup>1</sup>, Roman N. Golykh<sup>2</sup>, Aleksandr R. Barsukov<sup>3</sup>,  
Alexey N. Slivin<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, Biysk, Russia

<sup>1</sup> roman@bti.secna.ru

<sup>2</sup> grn@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7708-0665>

<sup>3</sup> barsukov.ar@bti.secna.ru

<sup>4</sup> san@bti.secna.ru

© Барсуков Р. В., Голых Р. Н., Барсуков А. Р., Сливин А. Н., 2024

**Abstract.** The article is devoted to the development of an experimental stand designed to study cavitation phenomena occurring in polymer melts. The operation of the stand is based on obtaining and analyzing the acoustic emission spectrum (in the audio range) of the direct contact area between the ultrasonic emitter and the polymer melt. Test spectra were obtained upon exposure to gas, liquid, and ethyl vinyl acetate melt. The developed stand will allow to study and maximize the potential of ultrasonic welding of polymers, in particular, it will allow to develop methods for effectively implementing the process of welding dissimilar materials.

**Keywords:** ultrasonic, cavitation phenomena, welding, polymers, effect on matter, diffusion intensification.

**Acknowledgements:** The study was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 24-22-00314, <https://rscf.ru/en/project/24-22-00314/>.

**For citation:** Barsukov, R.V., Golykh, R.N., Barsukov, A.R. & Slivin, A.N. (2024). Stand for studying cavitation phenomena in polymers and their melts under the influence of high intensity ultrasonic oscillations. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 161-166. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.024, EDN: <https://elibrary.ru/YJRQOH>.

## ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковая (УЗ) сварка является перспективным способом соединения полимеров. На сегодняшний день основной реализуемый механизм воздействия ультразвуковыми колебаниями на соединяемые слои полимеров заключается в нагреве до граничной температуры между вязкопластичным и капельным состоянием. Вместе с тем, многочисленные исследования в области полимеров показывают, что тепловые эффекты несут побочные и нежелательные явления, ограничивающие прочность соединения при ультразвуковой сварке, к которым относятся, например, термическая деструкция полимеров и ускорение химических реакций окисления. В то же время на примере неньютоновских жидкостей, в том числе по реологическим свойствам, близких к термопластичным материалам, установлено, что ультразвуковые колебания приводят к возникновению гидродинамических эффектов, способных ускорять диффузионные процессы.

На рисунке 1 представлена схема воздействия УЗ колебаниями на полимер, где при помощи ультразвуковой колебательной системы (УЗКС) осуществляется при непосредственном контакте с изначально твердым полимером введение в него ультразвуковой энергии.

Условно показаны зоны вблизи области введения УЗ энергии: 1 – текучее состояние полимера; 2 – вязкотекучее состояние полимера; 3 – вязкопластичное состояние полимера; 4 – твердое состояние полимера.

В непосредственной близости к излучающей поверхности УЗКС (зона 1), где материал в какой-то момент времени достигает текучего состояния, возникают кавитационные явления [1–6].

Таким образом, перспективными являются исследования, которые заключаются в установлении вклада гидродинамических эффектов (кавитационных явлений, акустических микропотоков, релаксационных эффектов вязкости) в контролируемое изменение свойств и интенсификацию

диффузии на границе раздела полимеров под действием мощных ультразвуковых колебаний в ходе реализации ультразвуковой сварки.



Рисунок 1 – Схема введения УЗ колебаний в полимерный материал

Figure 1 – Diagram of the introduction of ultrasonic vibrations into a polymer material

## МЕТОДЫ

Известно, что явление кавитации, возникающее в различных жидких средах, при воздействии на них УЗ колебаниями высокой интенсивности, как правило, сопровождается звуковыми эффектами (так называемый характерный кавитационный шум). Спектр этого шума зависит от физических свойств озвучиваемых сред, внешних условий (температуры, давления), параметров ультразвукового воздействия (интенсивности, частоты) и т.п.

Для исследования кавитационных явлений, протекающих в полимерах и их расплавах, при воздействии на них УЗ колебаниями высокой интенсивности был разработан стенд, структура которого представлена на рисунке 2.

Измерительный стенд состоит из УЗ электронного генератора Г, излучателя УЗКС, объема с расплавом полимера П, нагревателя Т, микрофона М, микрофонного усилителя У, скоростного аналогово-цифрового преобразователя А, персонального компьютера ПК с программным обеспечением, позволяющим получать спектр сигнала.



## СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПОЛИМЕРАХ И ИХ РАСПЛАВАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

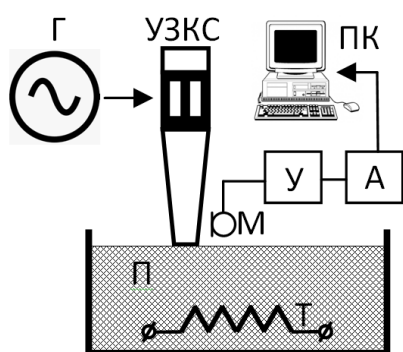


Рисунок 2 – Структурная схема стенда для изучения кавитационных явлений в полимерах и их расплавах

Figure 2 – Block diagram of a stand for studying cavitation phenomena in polymers and their melts

Ультразвуковой генератор с излучателем [7, 8] работает на фиксированной частоте 23 кГц, с возможностью плавного изменения амплитуды колебаний от 5 мкм до 50 мкм. Микрофонный усилитель построен на базе малошумящего усилителя МАХ9814. Аналогово-цифровой преобразователь построен на базе скоростного чипа AD9288. Площадь излучающей поверхности УЗ излучателя составляет 20 мм<sup>2</sup>. Микрофон располагается максимально близко к области контакта УЗ излучателя с озвучиваемой средой. Анализируется диапазон частот от 0 до 10 кГц. Нагреватель способен обеспечить нагрев полимеров до температуры 350 °С.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

При помощи предлагаемого стенда были получены предварительные измерительные данные. На рисунке 3 представлен спектр фо-

нового сигнала, поступающего с микрофона, при отсутствии каких-либо источников шума.

На рисунке 4 представлен спектр сигнала при наличии УЗ излучения в воздушной среде (без непосредственного воздействия на полимер или его расплав). На спектрограмме наблюдается всплеск уровня на частоте 4,31 кГц, что связано с паразитным излучением в звуковом диапазоне данного излучателя (характерная особенность, которую при дальнейших наблюдениях следует учитывать). Паразитное излучение узлов и элементов УЗ излучателей свойственно большинству конструкций.

На рисунке 5 представлен спектр сигнала, полученный при работе УЗ излучателя в водной среде. На спектрограмме явно наблюдаются изменения относительно спектра фонового сигнала (рисунок 3). В том числе на спектре присутствует «всплеск», который обусловлен паразитным излучением, в звуковом диапазоне, элементов конструкции УЗ излучателя. В диапазоне частот от 3 кГц до 7,5 кГц наблюдается изменения в спектре, на некоторых частотах этого диапазона уровень сигнала возрастает от -73dBm до -62dBm.

На рисунке 6 представлен спектр сигнала, полученный при воздействии на расплав этилвинилацетата (ЭВА) УЗ колебаниями. В отличие от спектра кавитационного шума, полученного при озвучивании воды, данный спектр имеет ярко выраженный пик в окрестностях частоты 7,15 кГц шириной в основании около 250 Гц. Субъективно, на слух, также наблюдается акустическая эмиссия из зоны УЗ воздействия на расплав полимера, что очевидно обусловлено кавитационными явлениями, возникающими в расплаве.

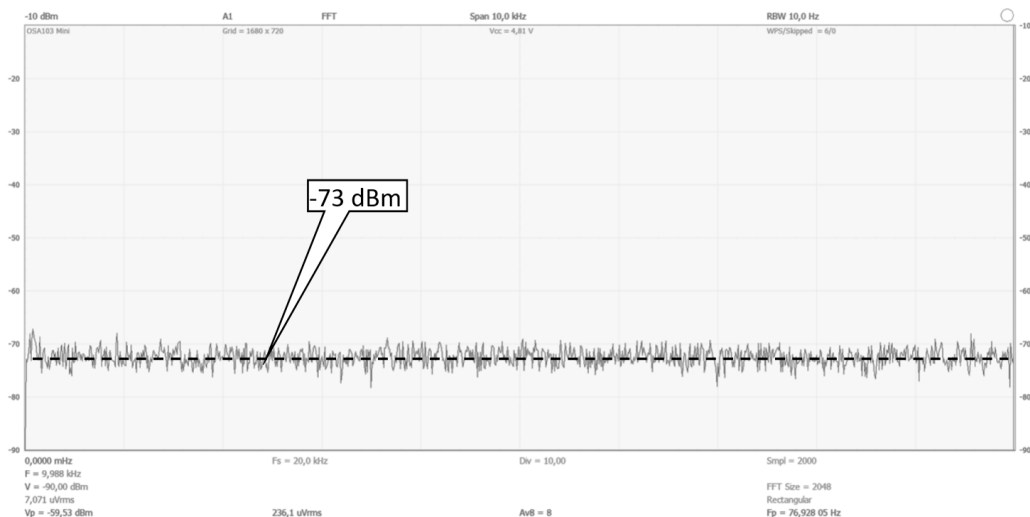


Рисунок 3 – Спектр фонового сигнала при отсутствии каких-либо источников шума

Figure 3 – The spectrum of the background signal in the absence of any noise sources



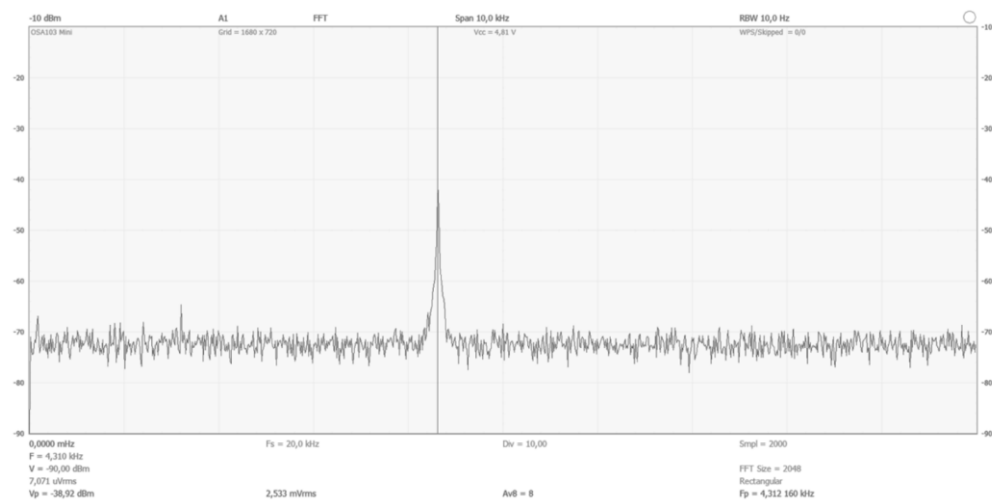


Рисунок 4 – Спектр сигнала при работающем УЗ излучателе в воздушной среде  
Figure 4 – Signal spectrum with a working ultrasonic emitter in an air environment

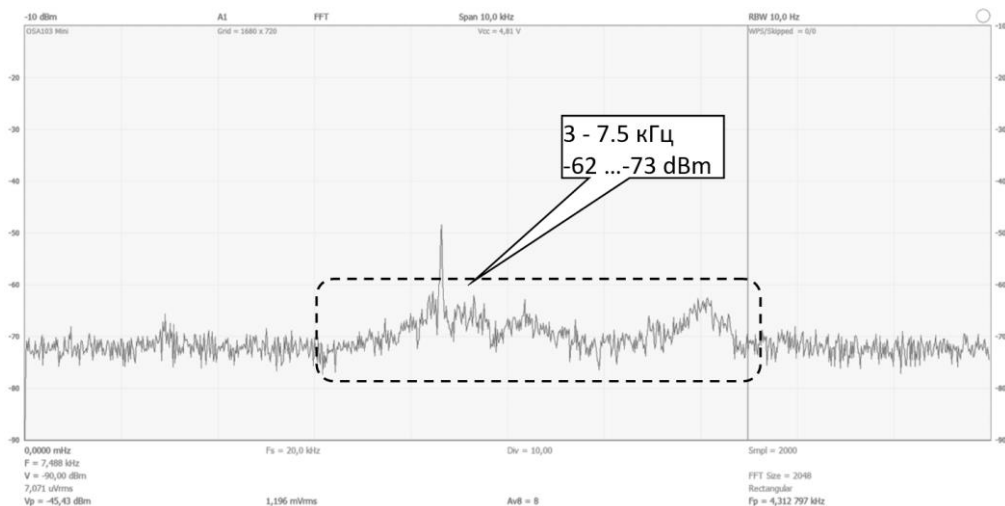


Рисунок 5 – Спектр сигнала, полученный при работе УЗ излучателя в водной среде

Figure 5 – The spectrum of the signal received during operation of the ultrasonic emitter in an aqueous environment

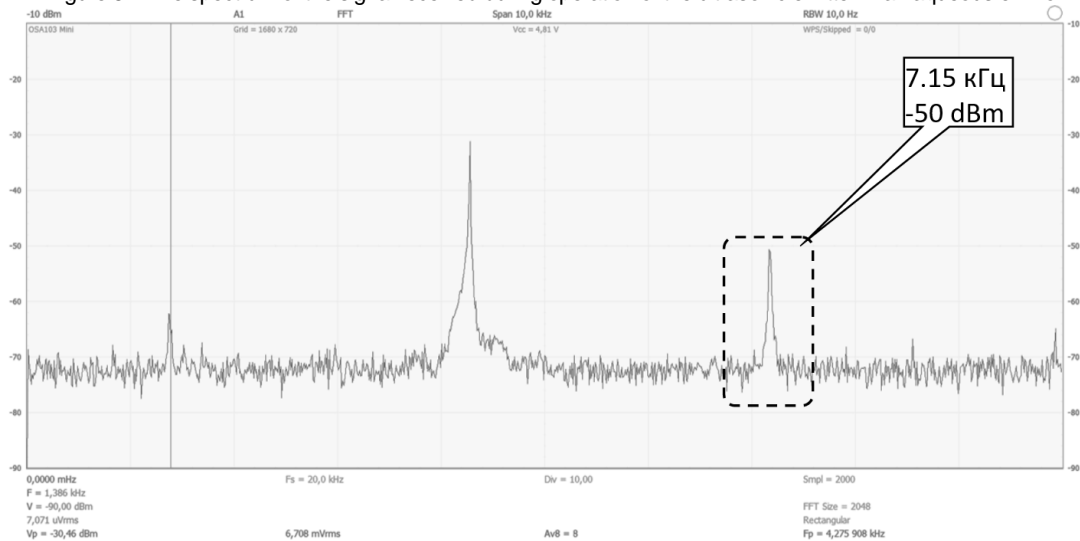


Рисунок 6 – Спектр сигнала, полученный в процессе УЗ воздействия на расплав полимера  
Figure 6 – The signal spectrum obtained during ultrasonic action on the polymer melt

# СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПОЛИМЕРАХ И ИХ РАСПЛАВАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы был разработан, изготовлен и апробирован измерительный стенд для исследования кавитационных явлений в полимерах и их расплавах при воздействии на них УЗ колебаниями высокой интенсивности. Предварительные эксперименты показали работоспособность стенда.

Разработка измерительного стенда является первым шагом в изучении новых механизмов инициации взаимной диффузии полимеров под действием ультразвука, изучении возможности кавитационного ускорения диффузии в полимерных материалах, что в конечном итоге позволит развить математический аппарат для описания нелинейной гидродинамики неньютоновских сред, который может быть использован для предсказания контролируемого изменения свойств полимеров при любых быстро меняющихся и мощных механических воздействиях.

Всё это позволит в полной мере раскрыть потенциал ультразвуковой сварки полимеров, обеспечив эффективную сварку разнородных материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ультразвук в комбинированных технологиях машиностроения / В.М. Приходько [и др.] // Научно-технические технологии электро-физико-химической и комбинированной обработки. 2020. № 9. С. 21–26. doi: 10.30987/2223-4608-2020-9-21-26.
2. Asano Y., Watanabe H., Noguchi H. Effects of polymers on the cavitating flow around a cylinder: a large-scale molecular dynamics analysis // *The journal of chemical physics*. 2021. Vol. 155. Issue 1. PP. e014905. doi: 10.1063/5.0056988.
3. Control of nano-cavitation in semi-crystalline polymer nanocomposites during uniaxial tension: in situ synchrotron X-ray study / Z. Chen [et al.] // *Polymer*. 2024. Vol. 296. PP. e126786. doi: 10.1016/j.polymer.2024.126786.
4. Технология жидкофазного совмещения сверхвысокомолекулярного полиэтилена с наночастицами неорганических соединений под действием ультразвуковых колебаний / Т.А. Охлопкова [и др.] // *Журнал прикладной химии*. 2016. Том 89. № 9. С. 1179–1186.
5. Temperature dependency of cavitation in impact copolymer polypropylene during stretching / L. Qian [et al.] // *Polymer*. 2021. Vol. 217. Issue 1. PP. e123428. doi: 10.1016/j.polymer.2021.123428.
6. Cavitation in thermoplastic melts: new insights into ultrasound-assisted fibre-impregnation / I. Tzanakis [et al.] // *Composites Part B: Engineering*. 2022. Vol. 229. Issue 6. PP. e109480. doi: 10.1016/j.compositesb.2021.109480.
7. Ультразвуковые технологии, аппараты. Ультразвуковой технологический аппарат серии «Волна». Бийск. URL: [https://ultrasonic.ru/catalog/apparaty\\_dlya\\_uskoreniya\\_rotsestov\\_v\\_zhidkikh\\_sredakh/volna\\_v6/](https://ultrasonic.ru/catalog/apparaty_dlya_uskoreniya_rotsestov_v_zhidkikh_sredakh/volna_v6/) (дата обращения: 12.03.2024).

8. Ультразвук. Принципы построения, алгоритмы и системы управления ультразвуковыми аппаратами / В.Н. Хмелев [и др.]. Бийск : АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2021. 200 с.

## Информация об авторах

*Р. В. Барсуков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации» Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».*

*Р. Н. Голых – доктор технических наук, профессор кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации» Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».*

*А. Р. Барсуков – инженер кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации» Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».*

*А. Н. Сливин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации» Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».*

## REFERENCES

1. Prihod'ko, V.M., Nigmatzyanov, R.I., Simonov, D.S., Sundukov, S.K. & Fatyuhin, D.S. (2020). Ultrasound in combined mechanical engineering technologies. *Science intensive technologies in mechanical engineering*, (9), 21-26. (In Russ.). doi: 10.1063/5.0056988.
2. Asano, Y., Watanabe, H. & Noguchi, H. (2021). Effects of polymers on the cavitating flow around a cylinder: a large-scale molecular dynamics analysis. *The journal of chemical physics*, 155(1), e014905. doi: 10.1063/5.0056988.
3. Chen, Z., Wang, Y., Li, Z., Zhang, H., Wan, M., Zheng, N., Xiong, B. & Zhu, J. (2024). Control of nano-cavitation in semi-crystalline polymer nanocomposites during uniaxial tension: in situ

synchrotron X-ray study. *Polymer*, (296), e126786.doi: 10.1016/j.polymer.2024.126786.

4. Ohlopkova, T.A., Borisova, R.V., Nikiforov, L.A., Spiridonov, A.M., Sharin, P.P. & Ohlopkova, A.A. (2016). Liquid phase combination technologyultra-high molecular polyethylenewith nanoparticles of inorganic compoundsunderthe influence of ultrasonic vibrations. *The journal of applied chemistry*, 89(9), 1179-1186. (In Russ.).

5. Qian, L., Zhang, Y., Zhao, X., Xiang, M., Lu, Y. & Men, Y. (2021). Temperature dependency of cavitation in impact copolymer polypropylene during stretching. *Polymer*, 217(1), e123428.doi: 10.1016/j.polymer.2021.123428.

6. Tzanakis, I., Khavari, M., Titze, M. & Eskin, D.G. (2022). Cavitation in thermoplastic melts: newinsights into ultrasound-assisted fibre-impregnation. *Composites Part B: Engineering*, 229(6), e109480.doi: 10.1016/j.compositesb.2021.109480.

7. Ultrasonic technologies and devices. Ultrasonic technological device of the "Volna" series (2024). Retrieved from [https://u-sonic.ru/catalog/apparaty\\_dlya\\_uskoreniya\\_protsesov\\_v\\_zhidkikh\\_sredakh/volna\\_v6/](https://u-sonic.ru/catalog/apparaty_dlya_uskoreniya_protsesov_v_zhidkikh_sredakh/volna_v6/). (In Russ.).

8. Khmelev, V.N., Barsukov, R.V., Genne, D.V., Abramenko, D.S. & Barsukov, A.R. (2021). *Ultrasonic. Principles of construction, algorithms and control*

*systems of ultrasonic devices*. Biysk: AltSTU. (In Russ.).

#### **Information about the authors**

*R.V. Barsukov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Methods and instruments of measurement and automation» of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.*

*R.N. Golykh - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Methods and instruments of measurement and automation» of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.*

*A.R. Barsukov - Engineer of the Department of «Methods and instruments of measurement and automation» of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.*

*A.N. Slivin - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Methods and instruments of measurement and automation» of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 28 января 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 28 Jan 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)  
УДК628.358-032.25:363

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.025



## ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ ДООЧИСТКИ ВОДЫ В ПЕРИОД ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Ирина Михайловна Угарова <sup>1</sup>,  
Людмила Анатольевна Иванова <sup>2</sup>, Евгений Николаевич Неверов <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

<sup>1</sup> ugarova260304@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7016-8162>

<sup>2</sup> lyuda\_ivan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4103-8780>

<sup>3</sup> neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются проблемы, связанные с качеством воды в условиях наводнений – одного из наиболее распространенных стихийных бедствий на планете. Основной акцент сделан на загрязнениях, возникающих в результате наводнений, таких как фенолы и железо, и на необходимости разработки эффективных методов их удаления из водных ресурсов, особенно для небольших населенных пунктов, испытывающих нехватку чистой воды.

Цель работы заключается в анализе загрязняющих веществ и предложении методов доочистки воды на основе сорбционных технологий. Описывается разнообразие методов очистки воды, среди которых выделяются химические и физико-химические, а также их эффективность в контексте очищения от фенолов и железа. Уделяется внимание новым материалам для сорбции, таким как стеклянный фильтрующий элемент Glass Berk и ионообменные смолы, что открывает новые перспективы в поиске решений для очистки воды от токсичных загрязнителей.

С помощью расчётов и лабораторного эксперимента демонстрируется, что разумная комбинация различных сорбционных материалов может привести к значительному улучшению качества очищаемой воды. Приведённая информация о допустимых концентрациях загрязняющих веществ подчеркивает важность соблюдения санитарных норм для защиты здоровья населения.

Необходимо акцентировать внимание на необходимости адаптации и внедрении новых технологий обработки воды в условиях гидрологических чрезвычайных ситуаций. Важно, чтобы будущие разработки учитывали не только эффективность очистки, но и экономическую целесообразность, минимизацию воздействия на окружающую среду, а также соответствие санитарным нормам. Таким образом, основная мысль статьи заключается в актуальности поиска и применения эффективных методов очистки воды во время наводнений, чтобы гарантировать здоровье и безопасность населения, и в значении комплексного подхода к этой проблеме, который включает как научные исследования, так и практическое применение новых технологий.

**Ключевые слова:** водный объект, загрязняющее вещество, сточные воды, методы очистки, адсорбция, углеродный сорбент.

**Благодарности:** Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоре медиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утверждённой Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, № соглашения 075-15–2022-1201 от 30.09.2022 г.

**Для цитирования:** Угарова И. М., Иванова Л. А., Неверов Е. Н. Применение сорбционной доочистки воды в период гидрологической чрезвычайной ситуации // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 167–172. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.025, EDN: <https://elibrary.ru/YUSTLQ>.

Original article

## USE OF SORPTION WATER PURIFICATION DURING A HYDROLOGICAL EMERGENCY

Irina M. Ugarova <sup>1</sup>, Lyudmila A. Ivanova <sup>2</sup>, Evgeny N. Neverov <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

<sup>1</sup> ugarova260304@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7016-8162>

<sup>2</sup> lyuda\_ivan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4103-8780>

<sup>3</sup> neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

**Abstract.** This article addresses water quality issues related to floods, one of the most common natural disasters on the planet. The main focus is on flood-related contaminants, such as phenols and iron, and the need to develop effective methods for their removal from water resources, especially for small communities experiencing a shortage of clean water. The aim of the work is to analyze the contaminants and propose methods for additional water treatment based on sorption technologies. A variety of water treatment methods are described, including chemical and physicochemical ones, as well as their effectiveness in the context of purification from phenols and iron. Attention is paid to new sorption materials, such as the GlassBerk Glass Filter Element and ion exchange resins, which opens up new perspectives in the search for solutions for water purification from toxic pollutants. Calculations and a laboratory experiment demonstrate that a reasonable combination of different sorption materials can lead to a significant improvement in the quality of purified water. The information provided on permissible concentrations of pollutants emphasizes the importance of observing sanitary standards to protect public health. It is necessary to emphasize the need to adapt and implement new water treatment technologies in hydrological emergencies. It is important that future developments take into account not only the efficiency of purification, but also economic feasibility, minimization of environmental impact, and compliance with sanitary standards. Thus, the main idea of the article is the relevance of finding and applying effective methods of water purification during floods to ensure the health and safety of the population, and the importance of an integrated approach to this problem, which includes both scientific research and the practical application of new technologies.

**Keywords:** water body, pollutant, wastewater, purification methods, adsorption, carbon sorbent.

**Acknowledgements:** The research is conducted as part of the comprehensive scientific and technical program of a complete innovative cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, ensuring of industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing of coal raw materials with consecutive amelioration of ecological impact on the environment and risks to human life", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation from 11.05.2022 №1144-r, with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation agreement No. 075-15-2022- 1201 dated 30.09.2022.

**For citation:** Ugarova, I.M., Ivanova, L.A. & Neverov, E.N. (2024). Use of sorption water purification during a hydrological emergency. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 167-172. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.025, EDN: <https://elibrary.ru/YUSTLQ>.

### ВВЕДЕНИЕ

Наводнения относятся к числу стихийных бедствий, которые становятся все более распространенными явлениями во всем мире. Большие объемы воды, присутствующие при наводнениях, охватывают сельскохозяйственные угодья, инфраструктуру и промышленные районы. В результате в паводковой воде по мере ее накопления часто присутствуют химикаты, топливо, отходы животноводства, бактерии и другие вредные вещества [1].

Наводнение – время неизбежного ухудшения качества воды, когда показатели качества воды, поступающей на станции водоподготовки, резко снижаются. Статистические данные свидетельствуют о многократном превышающем количестве возникающих наводнений во всем мире, рисунок 1 [2]. Известно, что к основным загрязняющим воду компонентам относят фенолы, нефтепродукты, соединения меди,

цинка, нитратный азот, ртуть, марганец, железо и т.д., все эти вещества имеют природное и антропогенное воздействие.

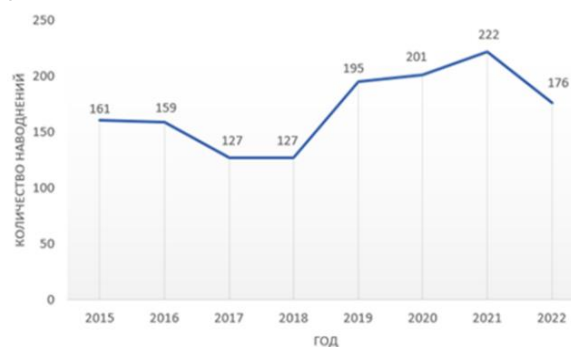


Рисунок 1 – Количество наводнений в мире в период за 2015–2022 гг.

Figure 1 – Number of floods worldwide in the period 2015–2022

## ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ ДООЧИСТКИ ВОДЫ В ПЕРИОД ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Для насосно-фильтровальных станций, снабжающих небольшие населенные пункты в период значительного поднятия уровня реки, важной задачей является обеспечение населения водой соответствующей санитарным нормам. Микробиологический показатель обеспечивается посредством введения обеззараживающих реагентов или применения УФ-обработки. Эффективность использования ультрафиолета достигается при обработке воды с мутностью и цветностью, соответствующей СанПиН 1.2.3685-21 [3]. Однако такие вещества, как фенолы и железо, придают выраженную цветность воде, тем самым снижая эффективность УФ-обеззараживания. А в случае использования химических реагентов для обеззараживания того же фенола образуется более опасное соединение хлорфенолы [4].

Актуальность работы обусловлена необходимостью в период гидрологической чрезвычайной ситуации (наводнения) обеспечить население в создавшихся условиях качественной водой, соответствующей нормативным требованиям.

Целью работы является анализ приоритетных загрязнителей источников водоснабжения небольших населенных пунктов в период значительного поднятия уровня рек, подтопляющих ближайшие окрестности, а также рекомендации по доочистке воды сорбционным способом, подчиняющимся принципу разумной достаточности. В рамках данной работы были взяты за основу модельные растворы с содержанием следующих загрязняющих веществ, а именно: фенола и железа.

Избыток железа в питьевой воде может привести к повреждению печени, поджелудочной железы и сердца. Стоит отметить, что при избытке железа вода имеет металлический привкус и запах. В свою очередь, загрязнение воды фенолами ведёт к ухудшению её сенсорных свойств за счет появляющегося характерного «аптечного» запаха, ухудшается вкус. Негативное влияние фенолов не ограничивается изменением вкусового качества воды. Фенолы обладают кумулятивными и канцерогенными свойствами. Накапливаясь в течение длительного времени в организме, эти вещества могут приводить к возникновению онкологических заболеваний, поражению печени, почек и нервной системы [4–9].

Можно сделать вывод о необходимости применения способов доочистки, направленных на снижение содержания фенолов и железа.

Наиболее широко распространённые методы очистки питьевой воды от содержания железа – химические методы (окисление  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , озонирование, каталитическое окисление ( $\text{MnO}_2$ )); физико-химические методы (ионный обмен, адсорбция, коагуляция, обратный осмос, гальванокоагуляция); биохимический метод и

фенолов – физико-химические методы (коагуляция, флотация, адсорбция); окисление (озонирование); каталитическое окисление (металлоксидные катализаторы Fe, Ni, Cu, Cr, Co и др.); биологические методы [10].

### ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Сорбционные методы зарекомендовали себя как эффективные и экономически выгодные в области доочистки водных растворов от органической и минеральной составляющей.

Согласно литературным данным, с целью извлечения органических соединений на рынке наиболее широко из перечисленных сорбционных материалов представлены активные угли, в том числе БАУ (сырьё – древесный уголь), СКД-515, АГ-3, АГ-ОВ-1, КАУ (каменный уголь) [11–13]. Данные марки сорбционных материалов имеют высокую сорбционную способность при очистке малоконцентрированных растворов, загрязнённых органическими компонентами (фенолом, формальдегидом, хлороформом, трихлорэтиленом), что обосновывает их выбор.

Ионообменная смола представляет собой разновидность нерастворимого полимерного соединения с функциональной группой обменным ионом сетчатой структурой. В качестве ионообменной смолы выбрана марка Pureresin PC 002 (Пюрезин). Катионит Pureresin применяется для умягчения питьевой воды с высоким содержанием солей жесткости, а также для удаления из нее остаточного железа и марганца. Рассматриваемая смола может использоваться для умягчения холодной и горячей (до +120 °С) воды [14].

Наряду с известными марками активных углей в работе представлено исследование альтернативного материала и его сорбционная активность по отношению к органическим загрязнителям, в частности, к фенолу. Была выявлена выраженная адсорбционная способность стеклянного фильтрующего элемента Glass Berk по отношению к фенолу [10].

Предельно допустимая концентрация железа в питьевой воде установлена на уровне  $0,3 \text{ мг/дм}^3$ , фенола соответственно  $0,001 \text{ мг/дм}^3$ . Исследования качества извлечения проводили на монокомпонентных модельных растворах железа (10 ПДК), фенола (10 ПДК) и бинарных системах с соотношением железа и фенола 1:1 в тех же концентрациях.

Изучение адсорбции проводили в динамических условиях (рисунок 2), колонны заполняли изучаемыми материалами (масса сорбента 10 г, скорость пропускания  $2,5 \text{ см}^3/\text{мин}$ , объем раствора  $10 \text{ дм}^3$ , забор раствора на выходе из колонны проводили с интервалом  $250 \text{ см}^3$ ). Результаты приведены в сводных таблицах 1, 2.



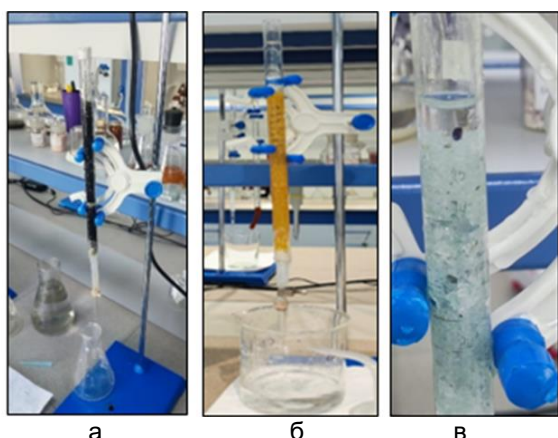


Рисунок 2 – Заполнение адсорбционной колонны исследуемыми образцами: а) БАУ; б) ионообменная смола; в) стеклянный фильтрующий элемент Glass Berk

Figure 2 – Filling the adsorption column with the samples to be studied: a) BAU; b) ion exchange resin; c) Glass Filter Element Glass Berk

Таблица 1 – Извлечение фенола из монокомпонентного модельного водного раствора (10 ПДК) в динамике

Table 1 – Extraction of phenol from a mono-component model aqueous solution (10 MPC) in dynamics

V р-ра, прошедшего через колонну, см <sup>3</sup>	Содержание фенола, мг/дм <sup>3</sup> ·10 <sup>3</sup>	
	БАУ	Стеклянный Фильтрующий Элемент GlassBerk
250	0	0
4000	0	0
4500	0	0,022
5000	0	0,028
6000	0,03	0,035
7000	0,05	0,058
8000	0,05	0,066
9000	0,06	0,07
10000	0,061	0,072

Таблица 2 – Извлечение ионов железа из монокомпонентного модельного раствора (10ПДК) в динамике

Table 2 – Extraction of iron ions from a mono-component model solution (10PDC) in dynamics

Pureresin PC 002	
V р-ра, прошедшего через колонну, см <sup>3</sup>	Содержание ионов железа, мг/дм <sup>3</sup>
250	0
3000	0
4000	0,00151
4500	0,001971
5000	0,00221
6000	0,003668
7000	0,005184
8000	0,0058
9000	0,00609
10000	0,0068

По результатам исследований процесса извлечения на лабораторных колонках при заданных условиях содержание загрязняющего вещества не вышло на проскоковый уровень при очистке монорастворов. Извлечение компонентов из водной бинарной системы в динамических условиях на БАУ и альтернативном сорбционном материале Glass Berk менее эффективно, что, вероятно, связано с конкурентным характером удаления компонентов. Glass Berk по отношению к монораствору ионов железа проявил низкую сорбционную способность (15 % извлечения об общего содержания).

### РАСЧЕТ ОБЪЕМА СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА И ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ

Для определения объема сорбционного материала и ионообменной смолы в качестве наполнителя сорбционной колонны, а также в целях сокращения времени на экспериментальную часть воспользовались расчетным методом. Для оценки эффективности очистки воды от фенола рассчитывалась приблизительная равновесная доза адсорбера, необходимая для снижения концентрации органического компонента до заданного значения по следующей формуле [15, 16]:

$$m_e = (C_0 - C_b) / q_b, \quad (1)$$

где  $m_e$  – доза сорбента, необходимая для извлечения вещества, г/дм<sup>3</sup>;

$C_0$  – исходная концентрация, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_b$  – концентрация, до которой необходимо снизить содержание компонента (концентрация проскока), мг/дм<sup>3</sup>;

$q_b$  – удельная емкость адсорбера до проскока, г/г. В расчетах принята  $8 \cdot 10^3$  г/г.

Доза ионообменной смолы, необходимая для извлечения минеральных компонентов, определена по формуле 2 [14, 15]:

$$E_{ст} = \frac{V(C_n - C_p)}{m_u}, \quad (2)$$

где  $V$  – объем раствора, из которого выделяют ионы, л;

$C_n$  и  $C_p$  – начальная и равновесная концентрация раствора, мг/дм<sup>3</sup>;

$m_u$  – масса ионита, г/дм<sup>3</sup>

Минимальная и достаточная доза сорбента, полученная при расчете для изученных сорбционных материалов, представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Минимальная и достаточная доза исследуемых образцов сорбента

Figure 3 – Minimum and sufficient dose of the studied sorbent samples



# ПРИМЕНЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ ДООЧИСТКИ ВОДЫ В ПЕРИОД ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Учитывая конкурентный характер адсорбции загрязняющего вещества из смеси, предлагаем адсорбционную колонку заполнить смесью материалов, то есть Glass Berk и ионообменной смолой. Выбор стекла обоснован тем, что вымывание из материала сопутствующих загрязнителей сведено к минимуму.

Экспериментально исследовано соотношение материалов загрузки (Glass Berk : ионообменная смола) в следующем количестве (10 : 5); (10 : 2); (10 : 0,5). Полученные данные отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Эффективность смешанной загрузки при различном соотношении материалов

Table 3 – Efficiency of mixed loading with different ratios of materials

Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	10:5		10:2		10:0,5	
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	Fe	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	Fe	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	Fe
Исходная	0,01	3,0	0,01	3,0	0,01	3,0
После извлечения	0,0005	–	0,0006	–	0,0005	–

При пропускании через колонны растворов, содержащих смесь фенола и железа (10ПДК : 10ПДК) объемом 10 дм<sup>3</sup>, проскок загрязняющего вещества ни при одном соотношении не зафиксирован, что позволяет рекомендовать к применению соотношение 10 : 0,5 для доочистки воды сорбционным способом в период гидрологической чрезвычайной ситуации. Полученные данные подтверждаются расчетами дозы материалов при очистке монокомпонентных растворов и экономической целесообразностью, так как стоимость ионообменной смолы составляет в диапазоне от 261 до 470 рублей за литр.

Стоит отметить, что на российском рынке аналогов стеклянному фильтрующему элементу не найдено. Однако изучение его свойств, состава, структуры, возможности модифицирования, как альтернативного материала в качестве наполнителя сорбционных колон, является перспективным направлением.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеприведённых исследований можно сделать вывод, что необходимо искать, изучать и технически внедрять дополнительные методы доочистки воды в период гидрологической чрезвычайной ситуации. Новые технологии и разработки должны не только обеспечивать большую эффективность, но и учитывать другие факторы, такие как энергоёмкость, тип дозируемых химических веществ, экономическую целесообразность. Выбор метода должен быть основан на принципах разумной достаточности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарно-гигиенический и микробиологический мониторинг источников водоснабжения и поверхностных водоемов во время природного стихийного бедствия в Приамурье / С.В. Балахов, С.А. Косилко, О.П. Курганова [и др.] // Проблемы особо опасных инфекций. 2014. № 1. С. 116–120.
2. Анализ обстановки с наводнениями и их последствиями на территории РФ [Электронный ресурс] // Департамент надзорной деятельности и профилактической работы, 2023. URL: <https://39.mchs.gov.ru>
3. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Введен 01.03.2021. Москва : ЦентрМг, 2022. 736 с.
4. Горелкина А.Л. Извлечение органических загрязнителей из сточных вод для повышения санитарной надежности водных объектов / А.К. Горелкина, О.В. Беляева, Н.С. Голубева [и др.] // Отходы и ресурсы. 2023. Т. 10. № 2.
5. Конев М.Д. Влияние избыточного содержания железа в воде на организм человека / М.Д. Конев // Аллея науки. 2018. Т. 2. № 5(21). С. 45–48.
6. Иванова М.И. Токсичное действие фенола на организм человека на производстве / М.И. Иванова, В.А. Юровских // Вестник науки. 2023. Т. 2. № 7(64). С. 221–224.
7. Свергузова С.В. Тяжелые металлы в окружающей среде и их трансформация / С.В. Свергузова, Л. Хунади, Ю.С. Воронина // CHEMICAL BULLETIN, 2019. С. 9–14.
8. Микшевич Н.В. Тяжелые металлы и экологическая безопасность человека: (свинец, ртуть, кадмий) / Н.В. Микшевич, Л.А. Ковальчук. Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет, 2020. 92 с.
9. Голубева Н.С. Исследование возможности очистки водных объектов Кузбасса от железа / Н.С. Голубева, Н.В. Гора, А.А. Ботанова // Пищевые инновации и биотехнологии : сборник тезисов; IX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках III международного симпозиума "Инновации в пищевой биотехнологии. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2021. С. 203–204.
10. Угарова И.М. Стеклоанный фильтрующий элемент Glass Berk как альтернативный сорбционный материал / И.М. Угарова // Многополярный мир в фокусе новой действительности : материалы XIII Евразийского экономического форума молодежи / Уральский государственный экономический университет. Том 3, 2023. С. 60–63.
11. Мусеев Т.С. Анализ современных сорбентов, на основе материалов органического происхождения / Т.С. Мусеев, К.В. Солдатов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017. № 1–1. С. 69–73.
12. Истомина Е.Е. Применение сорбентов для очистки питьевой воды / Е.Е. Истомина, Е.А. Алексеева // Электронный научный журнал. 2019. № 3(25). С. 25–28.

13. Gorelkina A.K. Application of adsorption technology for the extraction of chlorine-containing pollutants / A.K. Gorelkina, I.V. Timoshchuk, N.S. Golubeva [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Vol. Volume 839. Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 42063. DOI: 10.1088/1755-1315/839/4/042063.

14. Гаптуллин А.Н. Применение ионообменного аппарата для удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод / А.Н. Гаптуллин, А.Р. Галимова // Сборник статей III Международной научно-технической конференции «Минские научные чтения-2020» / Белорусский государственный технологический университет. Том 1, 2021. С. 186–189.

15. Когановский А.М. Адсорбция органических веществ из воды / Клименко Н.А., Левченко Т.М., Рода И.Г. Л. : Химия. 1990. 256 с.

16. Просеков А.Ю. Адсорбционное извлечение органических загрязнителей дроблеными углеродными сорбентами / А.Ю. Просеков, А.К. Горелкина, И.В. Тимошук, Н.С. Голубева, Л.А. Иванова, Е.С. Михайлова // Кокс и химия. 2022. № 11.

#### **Информация об авторах**

*И. М. Угарова – аспирант, лаборант-исследователь "Молодежной лаборатории фундаментальных исследований физико-химических методов очистки воды" ФГБОУ*

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

*Статья поступила в редакцию 15 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 15 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*

*ВО Кемеровского государственного университета.*

*Л. А.Иванова – канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности, институт инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».*

*Е. Н. Неверов – д-р техн. наук, заведующий кафедрой техносферной безопасности, институт инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».*

#### **Information about the authors**

*I.M. Ugarova - postgraduate student, laboratory assistant-researcher of the "Youth Laboratory of Fundamental Research of Physical and Chemical Methods of Water Purification" of the Kemerovo State University.*

*L.A. Ivanova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Institute of Engineering Technologies, Kemerovo State University.*

*E.N. Neverov - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Technosphere Safety, Institute of Engineering Technologies, Kemerovo State University.*



Научная статья  
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)  
УДК 662.641

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.026



## ПЕРЕРАБОТКА ТОРФА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

Юрий Владимирович Передерин <sup>1</sup>, Екатерина Германовна Анзельм <sup>2</sup>,  
Ирина Олеговна Усольцева <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

<sup>1</sup> pereder@tpu.ru

<sup>2</sup> ega6@tpu.ru

<sup>3</sup> cupa57@tpu.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты анализа российских патентов, исследований отечественных и зарубежных авторов, работы которых посвящены методам глубокой переработки низинного и верхового типов торфа. Большой инновационный потенциал имеют торф и продукты его переработки, так как в зависимости от вида обработки сырья они обладают легкодоступностью, высокой биологической активностью, антимикробными свойствами, способными связывать органические и неорганические соединения. Важно отметить, что целесообразность использования природного сырья определяется его доступностью, безопасностью для окружающей среды и конкурентоспособностью, по сравнению с синтетическими аналогами. В ходе проведенного обзора выявлено, что главная проблема выделения целевых компонентов из торфа состоит в плотно упакованной оболочке, состоящей в основной своей массе из лигнина и целлюлозы – негидролизующих веществ. Для разрушения описанных соединений и перевода полезных компонентов в водорастворимое состояние применяют такие методы переработки, как механо-физическую (термолиз, ультразвук, СВЧ-излучение, диспергаторы, кавитаторы, радиация), химическую (гидролиз, экстракция, ферментация) и механохимическую активацию сырья. Исследовано, что более эффективным и высокоинтенсивным является комплексный подход к переработке торфа. Широкий перечень продуктов, получаемых из высокоуглеродного сырья, может быть использован в сельском хозяйстве как удобрение, в качестве восстановителя почв, в фармакологии как компонент лекарственных средств, в сорбционных процессах как очиститель от нефтяных разливов и тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** торф, глубокая переработка торфа, механо-физическая активация торфа, химическая активация торфа, механохимическая активация торфа, целлюлоза, экстракция, гидролиз, радиолиз, термолиз.

**Для цитирования:** Передерин Ю. В., Анзельм Е. Г., Усольцева И. О. Переработка торфа: современное состояние технологий // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 173–180. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.026, EDN: <https://elibrary.ru/MULIZF>.

Original article

## APEAT PROCESSING: CURRENT STATE OF TECHNOLOGIES

Yuri V. Perederin <sup>1</sup>, Ekaterina G. Anzelm <sup>2</sup>, Irina O. Usoltseva <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>1</sup> pereder@tpu.ru

<sup>2</sup> ega6@tpu.ru

<sup>3</sup> cupa57@tpu.ru

© Передерин Ю. В., Анзельм Е. Г., Усольцева И. О., 2024

**Abstract.** The article presents the results of an analysis of Russian patents and studies by domestic and foreign authors dedicated to deep processing methods of lowland and upland peat types. Peat and its processed products hold significant innovative potential due to their ease of accessibility, high biological activity, antimicrobial properties, and the ability to bind organic and inorganic compounds, depending on the type of raw material processing. It is important to note that the feasibility of using natural raw materials is determined by their accessibility, environmental safety, and competitiveness compared to synthetic counterparts. During the conducted review, it was identified that the primary challenge in extracting target components from peat lies in the tightly packed shell, primarily composed of non-hydrolyzable substances, such as lignin and cellulose. To break down these compounds and convert valuable components into a water-soluble state, various processing methods are employed. These include mechanical and physical methods (thermolysis, ultrasonication, microwave irradiation, dispersion techniques, cavitation, radiation), chemical methods (hydrolysis, extraction, fermentation), and mechanochemical activation of raw materials. It has been established that a more effective and high-intensity approach to peat processing involves a comprehensive combination of these methods. A wide range of products derived from carbonaceous raw materials can find application in agriculture as fertilizers, soil restoration in pharmacology as components of medicinal products, in sorption processes, and as agents for cleaning up oil spills and heavy metals.

**Keywords:** peat, deep peat processing, mechano-physical activation of peat, chemical activation of peat, mechanochemical activation of peat, cellulose, extraction, hydrolysis, radiolysis, thermolysis.

**For citation:** Perederin, Yu.V., Anzelm, E.G. & Usoltseva, I.O. (2024). A peat processing: current state of technologies. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 173-180. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.026, EDN: <https://elibrary.ru/MULIZF>.

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день торф является уникальным сырьем, используемым в сельском хозяйстве для производства удобрений, в фармакологии, как лекарственные средства нового поколения, в качестве сорбентов тяжелых металлов или препаратов способных ликвидировать загрязнения нефтепродуктами. Гуминовые кислоты, содержащиеся в торфе, имеют высокую биодоступность, являются источниками физиологически активных веществ, а также способны связывать органические и неорганические соединения. Однако описанные свойства природный материал проявляет только после перехода полезных веществ в легкодоступную и водорастворимую форму путем деградации целлюлозной и лигнинной структуры торфа. Помимо этого, гумусосодержащее сырье является дешевым, возобновляемым ресурсом, при рациональной добыче которого не наносится вред окружающей среде. По этим причинам целевым направлением в технологии торфа является разработка новых способов его глубокой переработки. Экономическая целесообразность использования природного сырья складывается из высокой распространенности и богатства минеральных макро- и микроэлементов [1–4].

Торф до недавнего времени главным образом применялся в качестве источника энергии как топливное сырье. Для этого применяют такой способ переработки торфа, как термолиз. Нагревание торфа при высоких температурах

приводит к трансформации его структуры, при этом изменения тем глубже, чем выше конечная температура нагревания [5].

Помимо использования торфа как энергоресурса, существует возможность получения нефтяного сорбента на его основе. В патенте Бобошина А.Н. описывается техническое решение, при котором верховой торф мохового типа, со степенью разложения не более 20 %, зольностью не более 10 % сепарируется для отделения различных включений. Затем сырье подвергается термической обработке, что представляет из себя высушивание при 300–600 °С, в зависимости от исходной влажности сырья. В результате технологического процесса получается продукт с влажностью 18–24 % и дисперсностью 0,5–10 мм. Переработанный таким методом торф, покрывая поверхность нефтяного разлива, сорбирует и задерживает, предотвращая его дальнейшее распространение [6].

Температурная обработка применяется и в исследовании Валиева Н.Г., где верховой нейтрализованный торф, с показателем влажности и степенью разложения не более 55 % и 20 % соответственно, предварительно фракционируют в шнековом грануляторе до 0...10 мм. Дальнейшим этапом является сушка сырья при температуре 80 °С до достижения 25 % влажности. Полученный продукт смешивают с водным раствором солей тяжелых металлов. В результате получают сорбенты-мелиоранты, способные извлекать ионы тяжелых металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  до 92 % [7].

### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФА

В последнее время широко развиваются новые способы переработки торфа, например, механоактивация. За счет измельчения природного сырья повышается доля легкодоступных веществ.

Букейханов Н.Р. описывает использование роторно-дисперсионного кавитатора. Торф подвергается диспергированию на вибрмельнице МВ-30, представляющей собой насос с мощностью электродвигателя 11 кВт и 3000 об./мин. Интенсивное воздействие устройства разрушает лигнин на поверхности углеводного продукта окислительного аммонолиза, за счет чего высвобождаются гуминовые кислоты, применяемые для получения биоудобрений пролонгированного действия, улучшающих структуру почв [8].

В рамках научного исследования [9] был представлен метод активации природного сырья, основанный на использовании роторно-пульсационного гомогенизатора. При данном методе концентрация гуминовых кислот достигает уровня 22 г/л, в отличие от 4,8 г/л, полученных при применении автоклава.

Дудкин Д.В. предполагает, что кавитация торфа в щелочных водных средах с частотой вращения ротора 3000 об./мин представляет собой инновационный метод извлечения гуминовых веществ. В результате выход гуминовых кислот составил 25 %. Этот подход не только способствует более рациональному использованию торфяных ресурсов, но также позволяет интегрировать в экономическую деятельность продукты из верхового типа торфа с низкой степенью разложения (менее 15 %), характерного для Российской территории [10].

В другом исследовании [11] описывается методика механоактивации торфяного материала с использованием планетарной шаровой мельницы. Данный метод значительно увеличивает эффективность процесса извлечения гуминовых кислот в 6–7 раз, что сопровождается повышением числа кислых функциональных групп и усилением ионообменных характеристик гуминовых кислот. Кроме того, физико-механическое воздействие улучшает сорбционную способность торфа.

Авторами [12] освещается метод, основанный на механоактивации торфа с помощью роторно-пульсационного аппарата при гидромодуле 1:9,5. Концентрация гуминовых кислот в полученной пульпе составляла 15 г/л, что в 4 раза больше значений, полученных в вышеупомянутом патенте [13].

Альтернативным методом переработки торфа является электроимпульсное воздействие. При применении этого способа твердая составляющая торфа разрушается изнутри, что приводит к повышению агрономической эффективности.

Так, в проведенном исследовании Денисюк Е.А. доказывает, что под действием электрогидравлических ударов содержание питательных веществ и микроэлементов в торфе повышается. В зависимости от вида природного сырья наблюдается увеличение содержания аммиачного азота в 1,4–4,5 раза, а водорастворимого органического вещества – в 1,5–5 раза. Энергетические затраты на активацию торфа, по расчетам, не превышают 50–60 кВт на 1 т. Данный вид обработки может существенно снизить потребность в минеральных удобрениях, улучшить плодородие почв и обеспечить экономическую выгоду производства сельскохозяйственной продукции [14].

В патенте Мокшина В.В. представлено изобретение, предназначенное для производства органического удобрения из водорастворимой составляющей торфа. Технология основана на использовании электрогидродинамического ударного разрушения с частотой 1 Гц и временем обработки 10 минут. В отличие от существующих установок, данная обладает важными преимуществами, такими как выполнение процесса обработки торфа происходит в один этап без необходимости применения щелочных реагентов, возможность обкатывания частиц и уничтожения микроорганизмов благодаря действию ударной волны [15].

В дополнение известна технология получения гуминовых веществ из низинного торфа с использованием электрогидродуара при различных уровнях напряжения от 15 кВт до 60 кВт. Описанный метод позволяет получить продукт с содержанием гуминовых кислот не менее 60 %, сохраняя при этом естественную структуру продукта [16].

Ультразвуковая обработка представляет собой эффективный метод активации торфа. Воздействие на твердую фазу углеродного сырья трансформирует биологические свойства данного материала. Применение ультразвука способствует дисперсии сырья до наномасштабных размеров, что, в свою очередь, способствует повышению выхода гуминовых кислот.

Командой исследователей [17] было выявлено, что кратковременное ультразвуковое воздействие при частоте 22 кГц и продолжительностью процесса 3–15 минут на верховой торф с применением щелочных средств увеличивает выход гуминовых кислот на 68,6 % относительно классических методов.

В работе зарубежных авторов обсуждается экологически чистая альтернатива традиционной экстракции с применением ультразвука интенсивностью 200–400 мВт/см<sup>2</sup>. При этом возрастает эффективность выхода гуминовых кислот, что может привести к увеличению экономической целесообразности процесса и к использованию углеродного препарата, полученного воздействием ультразвука, в качестве удобрения [18].

Авторами [19] сообщается об инновационном методе обработки торфа с использованием в течение получаса при статическом давлении в системе 4,5 атм "зеленой" ультразвуковой технологии, исключающей применение химических стабилизаторов для диспергирования гумусосодержащего материала. При достижении высокой степени дисперсии порядка 80–130 нм природное сырье приобретает высокую биодоступность и способность к сорбции, что ведет к повышению урожайности при его использовании.

В статье [20] описывается способ интенсификации разрушения верхового торфа до низкомолекулярных продуктов воздействием СВЧ-излучения с частотой 2,45 Гц и полной мощностью 1 кВт. Длительность микроволнового облучения составляла 16 мин.

Еще одним направлением глубокой переработки торфа является радиационный метод, в основе которого лежит интенсификация биологических процессов под действием ионизирующего излучения.

В трудах Касимовой Л.В. предлагается радиолит низинного торфа при максимальной дозе облучения 18 Мрад с использованием электронного ускорителя ИЛУ-8. При этом в ходе трансформации органического сырья максимальный выход водорастворимых веществ составлял 97 % за счет разрушения негидролизующей составляющей торфа [21].

В исследованиях [22, 23] говорится о воздействии излучения высокой энергии на растительное сырье, при котором происходит разрушение целлюлозы. Доза, равная 0,1 МГр, способствует разрушению лигнина, при дозе 2,7 МГр, наблюдается увеличение растворимости в водных растворах.

### **ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФА**

Помимо механических методов обработки торфа, существует ряд химических подходов, включая гидролиз торфа. В рамках данного процесса торф взаимодействует с водой при повышенных температурах в присутствии кислотных, щелочных катализаторов или под

воздействием ферментов. В этих условиях происходит распад полисахаридов, входящих в состав торфа (например, целлюлозы и инкрустирующих веществ, лигнина), с последующим превращением их в моносахара и образованием водорастворимых структур.

В исследованиях Смирнова В.В. и Бамбалова Н.Н. представлены результаты сравнения кислотного и щелочного гидролиза. Было выявлено, что в гуминовых кислотах, выделенных с использованием 2 % раствора аммиака при температуре 96–98 °С содержалось легкогидролизующих веществ больше (45–51 % для низинного торфа и 22–23 % для верхового торфа соответственно) по сравнению с применением 2 % гидроксида натрия при тех же условиях (17–23 % для низинного торфа и 10–14 % для верхового торфа соответственно). Касательно кислотного гидролиза, структура поверхности природного сырья столь плотно упакованная, что водные растворы кислот не проникают вглубь, а взаимодействуют лишь с оболочкой частицы, поэтому выход легкогидролизующих веществ при кислотном гидролизе составил 6–13 % [24,25].

Другими авторами был освещен способ использования активированного гумусового сырья для дезактивации тяжелых металлов ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  и др.) и радионуклидов. Переработка торфа осуществлялась на основе патента [13], в котором использовался щелочной гидролиз с применением водного аммиака и перекиси водорода. По результатам анализа авторы утверждали об эффективной сорбционной способности активированного торфа [26].

В работе Кутищева Е.С. представлен способ извлечения гуминовых кислот с использованием щелочного раствора пиррофосфата натрия с последующим гидролизом раствором гидроксида натрия и их осаждением соляной кислотой. Полученный осадок переводили в раствор с применением аммиака и перекиси водорода. Также выяснено, что добавление перекиси водорода свыше 200 мл на кг раствора торфа в воде при гидромодуле 12 приводит к разрушению целевого продукта. В результате максимальный выход гуминовых кислот составлял 12,5 г/л [27].

Авторами следующего исследования проверяются методы щелочного гидролиза, разработанными в СибНИИСХиТ Россельхозакадемии, на низинном торфе с применением водного аммиака в присутствии перекиси водорода в первом способе и 2 % раствора гидроксида натрия во втором при 80 °С. Результаты исследования показывают, что при

первом методе выход гуминовых кислот составляет 78,9 %, при втором – 77,6 % при заявленном выходе 80–85 %. Авторами был выявлен главный недостаток предложенных способов гидролиза, которыми являются высокая кислотность среды ( $\text{pH} = 13$ ). На основании этого, в опыте с применением аммиака, было предложено снизить его концентрацию до 0,6 %, в результате чего выход гуминовых кислот составил 80 % [28].

В трудах Лакина Н.В. и его команды освещается способ ферментативного гидролиза верхового торфа с применением комплексов «Агроцелл» и «Агроксилл». В таком методе деструкция целлюлозы достигается действием специфическими ферментами – целлюлазами. При этом проводить ферментативный гидролиз дешевле кислотного и щелочного гидролизом в силу умеренных условий протекания и отсутствия необходимости применения специального оборудования. Итогом работы было определение оптимальных условий проведения процесса, такие как интервал температур 50–55 °С и кислотность среды 4,5–5,5, в результате чего выход моносахаридов (глюкозы) равен 6 %. Предложенный метод переработки торфа может быть использован в фармацевтике [29].

Командой исследователей [30] освещается метод активации торфа с помощью азотно-фосфорных удобрений в течение 3–7 суток. При этом возрастает число углеводородокисляющей микрофлоры, содержащейся в природном сырье, за счет которой торф может выступать сорбентом нефтяных загрязнений. Для активации может использоваться торф любой влажности, в статье же рекомендуется использовать верховой торф моховой группы со степенью разложения 5–10 %, с высокой пористостью и сорбционной емкостью 8–10 г нефти / г сорбента. Проверка эффективности показала, что спустя 3,5 месяцев после внесения мелиоранта в почву деструкция нефти составила 89–55 % (в зависимости от уровня загрязнения нефти) по сравнению с контрольным вариантом без внесения сорбента – 4 %.

Для интенсификации переработки гумусосодержащего сырья также может использоваться метод экстракции – процесс, при котором извлечение ценных компонентов происходит из раствора или сухой смеси под действием растворителей, не смешивающихся с исходным сырьем.

В статье Селяновой С.Б. в качестве экстрагентов использовались этилацетат, этанол, гексан, этоксиэтан. Процесс проводили

при комнатной температуре (25 °С) и при температурах кипения соответствующих растворителей. Методами настаивания с постоянным перемешиванием и дефлегмации было выявлено, что высокую степень извлечения демонстрирует этоксиэтан и этанол. Оценка эффективности применяемых способов составлялась из содержания свободных кислот (75–85 %) и числа сложных эфиров, представляющих собой высокобиологически активные вещества – воски. На описываемый процесс помимо времени влиял температурный режим, так, повышая температуру, значительно увеличивалась интенсификация и глубина экстракции. Данная закономерность указывает на то, что лимитирующей стадией процесса является внутренняя диффузия. Решением данной проблемы является измельчение торфяного сырья [31].

Известно применение водно-спиртовой смеси в соотношении 1:1 в качестве экстрагента. Методом погружения, фракционно отобранное сырье с размером частиц 2–5 мм, заливали экстрагентом в массовом соотношении 1:5, процесс длился 4 часа. Результатом исследования является получение водно-спиртового экстракта из торфа, в котором содержатся тритерпеноиды от 0,2 % до 0,7 % в зависимости от типа природного сырья. Наличие описанного соединения позволяет говорить об антимикробных свойствах полученного продукта, который можно использовать как добавку в косметологическом и фармацевтическом производстве [32].

Экстракции восков и смол применяются и для создания сорбентов на основе торфа. В работе [33] верховой торф со степенью разложения 25 % предварительно алкилировали бутанолом в присутствии 9 % фосфорной кислоты при температуре кипения упомянутого спирта. Затем природное сырье последовательно подвергалось экстракционной обработке гексаном и смесью спирт-бензола. Описанная методика позволяет получить углеродные сорбенты с удельной поверхностью 326–360 м<sup>2</sup>/г и сорбционной способностью, определяющейся по поглощению паров бензола, 466–226 мг/г, по сравнению с исходным сырьем – 155–107 мг/г.

#### КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФА

Наиболее эффективными являются те методы переработки, в основе которых лежит синергия. Таким способом, является механохимическая активация сырья, представляющая собой комплексный процесс, сопровож-



даемый разнообразными эффектами физической и химической природы. Важно отметить, что существенные изменения в составе и свойствах органического вещества могут предоставить новые технологические возможности эффективного использования природных ресурсов, подвергнутых тонкой переработке механохимией.

Специалистами Национального исследовательского Томского политехнического университета (НИ ТПУ) разработан и запатентован способ получения стимулятора роста растений. Механохимическая активация торфа осуществляется за счет применения роторно-пульсационного аппарата при частоте 45 Гц. Суспензия, состоящая из торфа и воды при гидромодуле 9,5:1, далее нагревается до 115–130 °С при добавлении 20–50 % аммиака и 20–30 % раствора перекиси водорода. Такой подход позволяет увеличить выход целевого продукта до 90 % на органическую массу торфа с сохранением качественных показателей и биологической активности [13].

В исследовании Селяниной С.Б., вышеупомянутого автора, экстракция была оптимизирована. Процесс проводился комплексно с применением физических методов переработки. Выявлено, что применение ультразвукового и микроволнового полей значительно ускоряет процесс экстракции с сохранением выхода ценных продуктов. Так, для УЗ-излучения время воздействия составило 2 часа, для СВЧ-излучения – 0,17 часа, по сравнению традиционным настаиванием – 24 часа [34].

Командой следующего исследования [35] была разработана технология тонкой переработки торфа на основе синергии механоактивации торфа с использованием роторно-пульсационного аппарата и химической активации с применением раствора аммиака 25 % и перекиси водорода 30 %. Выход гуминовых кислот при таком методе достигает 12 г/л.

Комплексный подход к процессу переработки торфа с применением ультразвукового воздействия, переменного и постоянного магнитных полей применяется в исследовании Москаленко Т.В. Продолжительность экстракции составляла 2 часа. Выход гуминовых кислот положительно изменялся в 1,2–1,5 раза, по сравнению с чисто химической активацией сырья [36].

В работе Никитиной И.М. описывается способ получения гумусового препарата, способного снизить содержание тяжелых металлов в сточных водах. Активация гуминовых кислот торфа происходила следующими методами: деминерализацией под действием

соляной кислоты, щелочным гидролизом гидроксидом натрия и гидроксидом кальция. Данные методы подготовки реагента не удовлетворяли поставленные требования, так как в очищенной воде дополнительно увеличивалась концентрация потенциально вредных элементов. Для решения недостатков описанных методов было предложено предварительно механоактивировать сырье с помощью шаровой мельницы при размере стальных шариков 1,5–2 мм в течение 30 минут. Далее торф обрабатывали гидроксидом кальция и высушивали. Такой метод приводил к дезактивации фульвокислот и увеличению выхода гуминовых кислот до 80 %. В результате степень очистки воды от марганца и стронция составила 98,9 % и 90,1 % соответственно. Показано, что осадки, образующиеся в процессе очистки торфяным препаратом, можно использовать в качестве почвенной основы, обеспечивающей увеличение всхожести семян [37].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая проведенное исследование, можно сказать, что на данный момент новые методы глубокой переработки торфа являются наиболее перспективными направлениями в химической технологии с целью получения гумусосодержащих, биологически активных удобрений, сорбентов и компонентов фармакологических препаратов. Результаты анализа показывают, что при использовании возобновляемого сырья, такое как торф, существует возможность повысить ресурсосберегающий эффект за счет малых отходов, простоты технологических решений, дешевизны используемого сырья и большого выхода целевого компонента.

На сегодняшний день, в основном, торф используется в качестве топлива, доля, занимаемая им в химической промышленности, крайне мала [38]. Поскольку в современном мире набирает обороты тенденция к использованию недорогих, простых в обработке и экологически чистых материалов, способных обеспечить конкурентоспособность синтетическим средствам, то особый интерес представляют собой торфяные месторождения.

Изготовление и применение препаратов на основе органических частей торфа приведет к восстановлению окружающей среды, например, к очистке почв от пестицидов или разливов нефти. Наиболее эффективно-пригодное сырье для получения таких продуктов получается при механохимической (комплексной) переработке.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES**

1. Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / под ред. Е.И. Ермакова. СПб. : Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2004. 248 с.
2. Орлов Д.С. Гуминовые вещества в биосфере // Сорос. Образоват. журн. 1997.
3. Зыкова М.В. Высокомолекулярные соединения гуминовой природы – перспективные биологически активные соединения / М.В. Зыкова, Л.А. Логвинова, М.В. Белоусов // Традиционная медицина, 2018. № 2 (53). С. 27–38.
4. Лиштван И.И. Основные свойства торфа и методы их определения / И.И. Лиштван, Н.Т. Король. Минск : Наука и техника, 1975. 320 с.
5. Недайводин Е.Г. Термохимическое исследование пиролиза верхового торфа / Е.Г. Недайводин, А.В. Петров, Н.Ш. Лебедева // Современные проблемы гражданской защиты. 2016. № 2(19). С. 17–21.
6. Сорбент торфяной и способ его получения: пат. 2560366 Рос. Федерация ; заявл. 01.04.2014; опубл. 20.08.2015, Бюл. № 23.
7. Использование торфа в качестве сорбента тяжелых металлов / Н.Г. Валиев [и др.] // Известия ТулГУ. Наука о Земле. 2023. № 3, С. 137–146.
8. Букейханов Н.Р. Механохимия жидкофазного окислительного аммонолиза природного сырья / Н.Р. Букейханов, Т.П. Михайловская, И.М. Чмырь // Химический журнал Казахстана. 2022. № 1. С. 5–14.
9. Синчинов С.А. Интенсификация процесса извлечения гуминовых веществ с использованием роторного гомогенизатора / С.А. Синчинов, Ю.В. Передерин, И.О. Усольцева // Химия и химическая технология в XXI веке. 2021. № 22. С. 129–130.
10. Дудкин Д.В. Влияние ботанического состава и степени разложения торфа на состав гуминовых кислот, полученных механохимическим способом / Д.В. Дудкин, Е.А. Заров, А.С. Змановская // Химия растительного сырья. 2016. № 2. С. 109–116.
11. Особенности состава и свойств гуминовых кислот торфов при механохимической обработке / А.А. Иванов [и др.] // Вестник ТГПУ. 2008. № 4. С. 38–41.
12. Михайлов Н.К. Механоактивация органического сырья с целью перевода гуминовых веществ в раствор / Н.К. Михайлов, Ю.В. Передерин, И.О. Усольцева // Химия и химическая технология в XXI веке. 2021. № 22. С. 214–215.
13. Способ получения стимулятора роста растений: пат. 2748166 Рос. Федерация; заявл. 14.10.2020; опубл. 20.05.2021, Бюл. № 14.
14. Денисюк Д.В. Особенности электрогидравлической обработки торфа и песка / Е.А. Денисюк, Р.А. Митрофанов, И.А. Носова // Вестник НГИЭИ. 2013. № 6 (25). С. 36–46.
15. Установка для производства органического удобрения: пат. 2746546 Рос. Федерация; заявл. 11.04.2020; опубл. 15.04.2021, Бюл. № 11.
16. Способ получения гуминовых веществ из низинного торфа методом электрогидроудара и устройство для его реализации: пат. 2792350 Рос. Федерация; заявл. 14.10.2020; опубл. 20.05.2021, Бюл. № 14.
17. Интенсификация извлечения гуминовых кислот из горных торфов с использованием ультразвуковой

- обработки металлов / Г.В. Ларина [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 6. С. 23–29.
18. Niewes, D. [et al.]. (2022) Ultrasound-Assisted Extraction of Humic Substances from Peat: Assessment of Process Efficiency and Products' Quality Journal Molecules 27(11), 3413; <https://doi.org/10.3390/molecules27113413>.
19. Силкин С.В. Исследование управляемого ультразвукового диспергирования торфа и бурого угля в воде / С.В. Силкин, Е.Е. Куликов, И.А. Попов // Механика, труды МФТИ. 2018. № 3. С. 86–95.
20. Анализ продуктов низкотемпературного СВЧ-пиролиза торфа / Т.О. Крапивницкая [и др.] // Химия древесины. 1981. № 1. С. 101–103.
21. Влияние радиолитизации на процессы минерализации и трансформации органического вещества низинного торфа в почву / Л.В. Касимова [и др.] // Химия растительного сырья. 2009. № 4. С. 165–170.
22. Скворцов С.В., Климентов А.С. Радиационная деструкция целлюлозы древесины сосны и ели // Химия древесины. 1986. № 3. С. 31–33.
23. Влияние ионизирующей радиации на гидролитическую устойчивость древесины / Т.О. Крапивницкая [и др.] // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. № 2. С. 339–348.
24. Смирнов В.В. Особенности физико-химических свойств гуминовых кислот, выделенных водным раствором аммиака / В.В. Смирнов, Н.Н. Бамбалов, С.В. Пармон // Природопользование. 2013. № 23. С. 173–181.
25. Смирнов В.В. Содержание легкогидролизуемых веществ в гуминовых кислотах, выделенных из торфа при различных условиях / В.В. Смирнов, Н.Н. Бамбалов // Природопользование. 2014. № 25. С. 179–183.
26. Козлова А.В. Дезактивация ионов тяжелых металлов и радионуклидов с использованием гуминовых веществ / А.В. Козлова, И.О. Усольцева, Ю.В. Передерин // Химия и химическая технология в XXI веке. 2022. № 2. С. 157–158.
27. Кутищева Е.С. Идентификация гуминовых веществ в растворах / Е.С. Кутищева, И.О. Усольцева, Ю.В. Передерин // Химия и химическая технология в XXI веке. 2012. № 23. С. 357–358.
28. Исследование способов извлечения из низинного торфа гуминовых препаратов / В.Р. Роганов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 23–31.
29. Исследование процесса ферментативного гидролиза торфа верхового типа тверской области с целью получения моносахаридов / Н.В. Лакина [и др.] // Вестник ТвГУ. Серия "Химия" 2019. № 1(35). С. 113–120.
30. Исследование свойств торфа для решения экологических проблем / Т.И. Бурмистрова [и др.] // Химия растительного сырья. 2009. № 3. С. 157–160.
31. Экстракция битумов из верхового торфа / С.Б. Селянина [и др.] // Arctic Environmental Research. 2013. № 1. С. 43–50.
32. Зайцева Т.Л. Влияние ботанического состава и степени разложения торфа на состав гуминовых кислот, полученных механохимическим способом / Т.Л. Зайцева // Химия твердого топлива. 2008. № 1. С. 3–6.
33. Получение углеродных сорбентов из бурых углей и торфа после извлечения восков и смол / Г.П. Хохлова [и др.] // Вестник Кузбасского государственного

го технического университета. 2005. № 4-1(48). С. 65–68.

34. Оптимизация процесса экстракции биологически активных веществ из верхового торфа / С.Б. Селянина [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН 2020. № 2–8. С. 108–116.

35. Уржумова Н.Д. Технологии глубокой переработки торфа / Н.Д. Уржумова, И.О. Усольцева, Ю.В. Передерин // Химия и химическая технология в XXI веке. 2022. № 23. С. 104–105.

36. Москаленко Т.В. Влияние ботанического состава и степени разложения торфа на состав гуминовых кислот, полученных механохимическим способом / Т.В. Москаленко, В.А. Михеева // Вестник ИрГТУ. 2012. № 7(66). С. 100–104.

37. Никитина И.М. Разработка способа получения реагента на основе торфа для снижения содержания тяжелых металлов в сточных водах горных предприятий : дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 124 с.

38. Vambalov, N.N. (2012). Use of peat as an organic raw material for chemical processing. Solid Fuel Chem. 46, 282–288. <https://doi.org/10.3103/S0361521912050023>.

#### **Информация об авторах**

*Ю. В. Передерин – кандидат химических наук, доцент отделения ядерного-топливного цикла, инженерной школы ядерных технологий,*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет.*

*Е. Г. Анзельм – лаборант отделения ядерного-топливного цикла, инженерной школы ядерных технологий, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.*

*И. О. Усольцева – старший преподаватель отделения ядерного-топливного цикла, инженерной школы ядерных технологий, Национальный исследовательский Томский политехнический университет.*

#### **Information about the authors**

*Yu.V. Perederin - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Nuclear Fuel Cycle Department of the National Research Tomsk Polytechnic University.*

*E.G. Anzelm - Laborant of the Department of Nuclear Fuel Cycle of the National Research Tomsk Polytechnic University.*

*I.O. Usoltseva - Assistant of the Department of the Nuclear Fuel Cycle of the National Research Tomsk Polytechnic University.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 15 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 15 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)  
УДК 544.7

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.027



## ОПТИМИЗАЦИЯ СПОСОБА АКТИВАЦИИ ЦЕОЛИТА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА ПРИ ОЧИСТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КАТИОНОВ МЕТАЛЛОВ

Юлия Алексеевна Тунакова <sup>1</sup>, Всеволод Сергеевич Валиев <sup>2</sup>,  
Гульнара Наилевна Габдрахманова <sup>3</sup>

<sup>1, 3</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ, Казань, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия

<sup>1</sup> [juliaprof@mail.ru](mailto:juliaprof@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8826-8639>

<sup>2</sup> [podrost@mail.ru](mailto:podrost@mail.ru)

<sup>3</sup> [g.n.gabdrakhmanova@mail.ru](mailto:g.n.gabdrakhmanova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0735-5181>

**Аннотация.** В статье показано, что очистка от металлов с использованием природных цеолитов активно применяется для достижения требуемого качества вод. В качестве природного цеолита при очистке воды от катионов металлов была выбрана цеолитсодержащая порода Татарско-Шатрашанского месторождения. Анализ состава цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения выявил значительное содержание примесей, в основном соединений кальция и продуктов органического происхождения. Кислотная обработка позволяет модифицировать химический состав и структуру цеолита. Использование комплексной физико-химической активации породы, включающей механическую, термическую и кислотную обработку, позволяет повысить адсорбционные характеристики природного материала. Проведена серия экспериментов по активации и оценке сорбционной ёмкости цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения. Кислотная активация цеолита осуществлялась после удаления примесей органического вещества и поровых вод. В работе представлены результаты взвешивания опытных образцов на различных этапах исследования. Оценена эффективность сорбции отдельных образцов цеолитсодержащей породы, активированных растворами кислоты различной концентрации, по отношению к комбинированным растворам. Полученные результаты позволили учесть особенности цеолитсодержащей породы и адаптировать методы очистки и активации применительно к конкретному типу цеолита, а также рассчитать относительную адсорбционную ёмкость по отношению к водным растворам кадмия, свинца, цинка, меди, никеля и марганца. Результаты проведенных экспериментов позволяют обосновать применение цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения в качестве материала при решении задач очистки сточных вод промышленных предприятий от катионов металлов.

**Ключевые слова:** цеолит, сорбционный материал, очистка воды, металлы, эффективность сорбции, активация, этапы.

**Для цитирования:** Тунакова Ю. А., Валиев В. С., Габдрахманова Г. Н. Оптимизация кислотной активации цеолита для использования в качестве сорбционного материала при очистке вод от металлов // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 181–185. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.027, EDN: <https://elibrary.ru/EJTJVF>.

Original article

## OPTIMIZATION OF METHOD OF ACTIVATION OF ZEOLITE FOR USE AS A MATERIAL IN TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER FROM METAL CATIONS

Yulia A. Tunakova <sup>1</sup>, Vsevolod S. Valiev <sup>2</sup>, Gulnara N. Gabdrakhmanova <sup>3</sup>

<sup>1, 3</sup> Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia

<sup>2</sup> Institute of Problems of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia <sup>1</sup> [juliaprof@mail.ru](mailto:juliaprof@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8826-8639>

<sup>2</sup> [podrost@mail.ru](mailto:podrost@mail.ru)

<sup>3</sup> [g.n.gabdrakhmanova@mail.ru](mailto:g.n.gabdrakhmanova@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0735-5181>

© Тунакова Ю. А., Валиев В. С., Габдрахманова Г. Н., 2024

**Abstract.** The article shows that metal purification using natural zeolites is actively used to achieve the required water quality. Zeolite-containing rock of the Tatarsko-Shatrashansky deposit was chosen as a natural zeolite for water purification from metal cations. Analysis of the composition of zeolite-containing rock of the Tatarsko-Shatrashansky deposit revealed a significant content of impurities, mainly calcium compounds and products of organic origin. Acid treatment allows to modify the chemical composition and structure of zeolite. The use of complex physical and chemical activation of the rock, including mechanical, thermal and acid treatment, allows to increase the adsorption characteristics of natural material. A series of experiments on activation and estimation of sorption capacity of zeolite of Tatarsko-Shatrashansky deposit was carried out. Acid activation of zeolite was carried out after removal of impurities of organic matter and pore water. The paper presents the results of weighing of experimental samples at different stages of the study. The sorption efficiency of individual samples of zeolite-containing rock activated by acid solutions of different concentrations in relation to combined solutions was evaluated. The obtained results made it possible to take into account the peculiarities of zeolite-containing rock and adapt the methods of purification and activation to a specific type of zeolite, as well as to calculate the relative adsorption capacity in relation to aqueous solutions of cadmium, lead, zinc, copper, nickel and manganese. The results of the experiments allow us to justify the use of zeolite of the Tatarsko-Shatrashansky deposit as a material for solving the problems of wastewater treatment of industrial enterprises from metal cations.

**Keywords:** zeolite, sorption material, water treatment, metals, sorption efficiency, activation, steps.

**For citation:** Tunakova, Yu.A., Valiev, V.S. & Gabdrakhmanova, G.N. (2024). Optimization of method of activation of zeolite for use as a material in treatment of industrial wastewater from metal cations. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 181-185. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.027, EDN: <https://elibrary.ru/EJTJVF>.

## ВВЕДЕНИЕ

Большой практический интерес вызывает применение природных ионообменных и сорбционных материалов для очистки вод от катионов металлов. Природные цеолиты вызывают практический интерес из-за их ценных свойств, таких как сорбционная ёмкость и ионообменная способность. Природные цеолиты обладают высокой селективностью по отношению к определенным катионам металлов, таким как Pb(II), Cd(II), Zn(II) и Cu(II). При оценке природных материалов необходимо учитывать их устойчивость в водных средах, доступность, простоту получения, стоимость [1–4].

Цеолитсодержащие породы, полученные непосредственно из природной среды, проявляют слабые сорбционные свойства в связи с низкой пористостью естественной породы и высоким содержанием примесей [5–6]. В качестве объекта исследования выбран местный цеолит Татарско-Шатрашанского месторождения. В составе цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения содержание SiO<sub>2</sub> превышает 60 %, а Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 10 %, что позволяет отнести его к высококремнеземным кислотостойким цеолитам, с H<sup>+</sup>-формой активации [5]. Однако в данном цеолите отмечается значительное содержание примесей (до 30 %), в основном соединений кальция и продуктов органического происхождения (табл. 1).

Активация кислотным методом заключается в обработке природных цеолитов растворами серной, соляной, фосфорной и уксусной кислот в течение определенного временного интервала, при нагревании и перемешивании [7]. Отмечается, что за счет удаления из породы балластного вещества возможно значительное увеличение удельной доли сорбирующего материала, а при правильно подобранном способе удаления неактивных примесей – повышение

адсорбционных характеристик, за счет увеличения удельной поверхности и объема пор [8, 9].

Таблица 1 – Процентное содержание различных компонентов цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения [6]

Table 1 – Percentage content of various components of zeolite-containing rock of the Tatarsko-Shatrashan deposit

Компонент	Содержание, %
SiO <sub>2</sub>	69,39
TiO <sub>2</sub>	0,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,37
CaO	10,85
MgO	0,68
Na <sub>2</sub> O	0,23
K <sub>2</sub> O	0,82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22
SO <sub>3</sub>	0,30
Потери при прокаливании	11,69

Было показано, что катионообменная способность клиноптилолита зависит от метода предварительной обработки, а кондиционирование улучшает его ионообменную способность и эффективность удаления примесей [8]. Проведены исследования, в которых изучены структурно-химические превращения цеолита, полученного на основе кислотной-термической модификации природного цеолита. Установлено, что после модификации уменьшается количество катионов, которые обмениваются как на поверхности кристаллов, так и в ядре, за исключением Al [10]. Наиболее эффективным и экономическим целесообразным способом активации считается комплексная физико-химическая активация породы, включающая механическую, термическую и кислотную обработку.

# ОПТИМИЗАЦИЯ СПОСОБА АКТИВАЦИИ ЦЕОЛИТА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА ПРИ ОЧИСТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КАТИОНОВ МЕТАЛЛОВ

Целью эксперимента явился подбор оптимального способа активации цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения для использования в качестве сорбционного материала при очистке воды от катионов металлов.

## МЕТОДЫ

Для экспериментальных исследований были отобраны образцы цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения, которые измельчали в фарфоровой ступке и просеивали через сито с размером ячеек 1 мм. Для дальнейшего использования из просеянного материала с точностью  $\pm 2$  мг отбирались три навески по 5 г.

Отобранные образцы цеолита прокаливали в течение 2 часов при температуре 400 °С в муфельной печи для удаления примесей органического вещества и поровых вод. После остывания образцов до комнатной температуры они повторно взвешивались, а затем осуществлялась их кислотная активация.

Для приготовления активирующих растворов использовалась соляная кислота ГОСТ 3118-77

Таблица 2 – Результаты взвешивания опытных образцов на различных этапах исследования  
Table 2 – Results of weighing prototypes at various stages of the study

Исходный образец, г	Термическая обработка		Растворы	Кислотная активация		Общие потери, %
	Вес, г	Потери, %		Вес, г	Потери, %	
5,000	4,358	12,8	10% раствор	3,766	13,6	26,4
5,000	4,325	13,5	15% раствор	3,654	15,5	29,0
5,002	4,25	15,0	20% раствор	3,561	16,2	31,2
<b>Среднее</b>	<b>4,311</b>	<b>13,8</b>	<b>Среднее</b>	<b>3,660</b>	<b>15,1</b>	<b>28,9</b>

Результаты взвешивания опытных образцов указывают на то, что потери при прокаливании достигают 15 % при среднем значении 13,8 %, потери при кислотной активации достигают 16,2 % при среднем значении 15,1%, а совокупные потери веса образцов достигают 31,2 %. Таким образом, около одной трети массы вещества цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения составляет балластное вещество, которое легко удаляется в результате последовательной термической и химической обработки, при этом растворы кислоты более высоких концентраций удаляют большее количество примесей.

На втором этапе исследования осуществлялась оценка эффективности полученных активированных образцов цеолита. Для этого из стандартных образцов ГСО шести металлов ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ ) было подготовлено 3 рабочих раствора по 25 мл. Концентрация каждого металла в растворах составила 5 мг/л.

Растворы металлов пропускали через навески (1 г) трех активированных образцов цеолита, размещенных в стеклянной воронке на бумажном фильтре. Концентрация металлов

(хч), с массовой долей HCl 38 %, плотностью 1,19 г/см [11]. В качестве активирующих растворов использовались 10 %, 15 % и 20 % растворы соответственно; в каждый раствор, объемом 50 мл, помещалась термически обработанная на первом этапе и взвешенная отдельная навеска, которая выдерживалась в растворе в течение 6 часов. Затем раствор кислоты сливали, а образец промывали на бумажном фильтре дистиллированной водой. Промытые образцы высушивались в сушильном шкафу при 105 °С в течение 2 часов и повторно взвешивались.

Кислотная обработка обеспечивала удаление из цеолитсодержащей породы оксидов, гидроксидов и карбонатов кальция, оксидов железа, замену щелочных и щелочноземельных катионов на  $\text{H}^+$  и повышение удельной адсорбционной поверхности [6].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты изменения масс опытных образцов после каждого этапа подготовки представлены в таблице 2.

замерялась до и после фильтрации раствора методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе AAnalyst 400 [12].

Эффективность сорбции  $E_s$ , % вычислялась для каждого металла по формуле:

$$E_s = \frac{C_{\text{до}} - C_{\text{после}}}{C_{\text{до}}} \times 100;$$

где  $C_{\text{до}}$  и  $C_{\text{после}}$  – концентрации металла в растворе до и после адсорбции на сорбенте.

Согласно ГОСТ Р 51871-2002 [13], эффективность водоочистного устройства в отношении химических загрязняющих компонентов на растворах с максимальным содержанием загрязняющих компонентов должна быть не ниже 50 %. Выбранные концентрации растворов металлов (5 мг/л) моделируют условия высокого загрязнения.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования установлено, что полученные образцы цеолита обладают высокой сорбционной ёмкостью по отношению ко всем рассмотренным металлам. Максимальная эффективность отмечена для образцов, активированных 15–20 % HCl. При этом разли-



чия в эффективности между образцами, активированными 15 % и 20 % растворами соляной кислоты по отношению ко многим металлам, минимальны (табл. 3).

Отмечено, что по эффективности сорбции ионы металлов располагаются в ряд  $Cu > Pb > Cd > Mn, Ni > Zn$ , при этом разница между крайними в этом ряду металлами – Cu и Zn – составляет более 18 %.

Таблица 3 – Эффективность сорбции ( $E_s$ ) отдельных образцов цеолитсодержащей породы, активированных растворами кислоты различной концентрации, по отношению к комбинированым растворам Cd, Pb, Zn, Cu, Ni и Mn

Table 3 – Sorption efficiency ( $E_s$ ) of individual samples of zeolite-containing rock activated with acid solutions of various concentrations in relation to combined solutions of Cd, Pb, Zn, Cu, Ni and Mn

Металл	Эффективность сорбции образцов цеолита, $E_s$ %			
	10 % раствор	15 % раствор	20 % раствор	<b>Среднее</b>
Cd	78,5	85,9	92,4	<b>85,6</b>
Pb	80,6	89,0	93,7	<b>87,8</b>
Zn	74,0	76,8	76,6	<b>75,8</b>
Cu	88,5	95,8	96,0	<b>93,4</b>
Ni	75,2	85,9	89,5	<b>83,5</b>
Mn	76,4	83,9	90,3	<b>83,5</b>
<b>Среднее</b>	<b>78,9</b>	<b>86,2</b>	<b>89,8</b>	

Согласно полученным результатам, эффективность адсорбции рассмотренных металлов на поверхности цеолита возрастает прямо пропорционально степени его очистки от примесей (рис. 1).

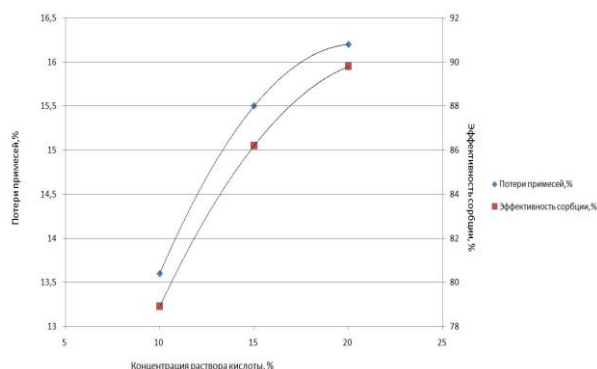


Рисунок 1 – Взаимосвязь между степенью очистки цеолитсодержащей породы и эффективностью сорбции

Figure 1 – Relationship between the degree of purification of zeolite-containing rock and sorption efficiency

При этом следует отметить, что эффективность сорбции в большей степени зависит именно от степени очистки породы, чем от концентрации активирующего раствора, так как обе кривые имеют не линейный, а полиномиальный характер, а различие эффективности между образцами, активированными 15 % и 20 % рас-

творами, выражено значительно меньше, чем между 10 % и 15 %. Таким образом, использование более концентрированных растворов является избыточным, экономически нецелесообразным, в связи с тем, что уже при активации 10 % раствором отмечается достаточно высокая степень адсорбции по отношению ко всем рассмотренным металлам. Тем не менее, активация 15 % раствором может быть необходима для более эффективного удаления из воды катионов  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  и  $Ni^{2+}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в результате проведенного эксперимента результаты подтверждают необходимость предварительной очистки цеолитсодержащей породы от различных примесей, в первую очередь, от органических веществ, а также щелочных и щелочноземельных металлов. Только последовательное использование механической (дробление на гранулы), термической (прокаливание) и химической (обработка раствором кислот) обработки цеолитсодержащей породы позволяет активировать природный цеолит до необходимой для очистки сточных вод степени эффективности.

Результаты проведенных экспериментов представляют научно-практический интерес, так как позволяют научно обосновать применение цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения для использования в качестве сорбционного субстрата при решении задач иммобилизации металлов, и очистки от их катионов природных и сточных вод.

**\* Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению № 075-03-2024-067 от 17.01.2024 г. (номер темы FZSU-2023-0005).**

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Leung W.C., Wong M.F., Chua H., Lo W., Leung, C.K. 2000. Removal and recovery of heavy metals by bacteria isolated from activated sludge treating industrial effluents and municipal wastewater. *Water Sci. Technol.* 41 (12), 233–240.
2. Шилина А.С., Милинчук В.К. Сорбционная очистка природных и промышленных вод от катионов тяжелых металлов и радионуклидов новым типом высокотемпературного алюмосиликатного адсорбента // Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. Вып. 2. С. 237–245.
3. Badot P.C.G. Sorption Process and Pollution, Conventional and Non Conventional Sorbents for Pollutant Removal From Wastewaters / C.G. Badot P., Franche-Comté. 2010.
4. Erdem E. The removal of heavy metal cations by natural zeolites / Erdem E., Karapinar N., Donat R. // *Journal of Colloid and Interface Science.* 2004. № 2 (280). P. 309–314.
5. Голубева О.Ю. Пористые алюмосиликаты со слоистой и каркасной структурой: синтез, свойства и разработка композиционных материалов на их основе для решения задач медицины, экологии и катализа: дисс. ... на соискание ученой степени д.х.н. Санкт-Петербург. 2016. С. 205–206.
6. Влияние кислотной активации на сорбционные характеристики цеолит содержащей кремнистой породы / К.А. Мишагин [и др.] // Вестник технологического универси-

# ОПТИМИЗАЦИЯ СПОСОБА АКТИВАЦИИ ЦЕОЛИТА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА ПРИ ОЧИСТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КАТИОНОВ МЕТАЛЛОВ

тата. 2022. Т.25, № 6. С. 73–80. DOI: 10.55421/1998-7072\_2022\_25\_6\_73.

7. Михайлова О.А. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук, Казанский. гос. технолог. ун-т, Казань, 2007. 18 с.

8. Dávila-Rangel J.I., Solache-Ríos M. Sorption of cobalt by two Mexican clinoptilolite rich tuffs zeolitic rocks and kaolinite // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2006. Vol. 270. No. 2. pp. 465–471.

9. Белова Т.П. Адсорбция марганца и свинца натуральным цеолитом из водных растворов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2018. 15(5), С. 630–635. DOI: <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2015.15/314>.

10. Babel S., Kurniawan T.A. 2003. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. J. Hazard. Mater. B97. 219–243.

11. Саримсакова Н.С., Файзуллаев Н.И., Бакиева Х.А. Изучение физико-химических характеристик клиноптилолита в процессе его модификации // Universum: технические науки. 2022. №1(94). С. 21–26.

12. Алексеев В.Н. Количественный анализ. М. : Химия, 1972. 504 С.

13. ГОСТ Р 51871-2002. Устройства водоочистные. Общие требования к эффективности и методы ее определения. Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 18 февраля 2002 г. N 64-ст.

## Информация об авторах

*Ю. А. Тунакова – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей химии и экологии Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.*

*В. С. Валиев – старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан.*

*Г. Н. Габдрахманова – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры общей химии и экологии Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.*

## REFERENCES

1. Leung, W.C., Wong, M.F., Chua, H., Lo, W., Leung, C.K. (2000). Removal and recovery of heavy metals by bacteria isolated from activated sludge treating industrial effluents and municipal wastewater. Water Sci. Technol. 41(12), 233-240.

2. Shilina, A.S., Milinchuk, V.K. Sorption purification of natural and industrial waters from heavy metal cations and radionuclides by a new type of high-temperature aluminosilicate adsorbent // Sorption and Chromatographic Processes. 2010. Vol. 10. Issue. 2. С. 237-245.

3. Badot, P.C.G. Sorption Process and Pollution, Conventional and Non Conventional Sorbents for Pollutant Removal From Wastewaters / C.G. Badot P., Franche-Comté. 2010.

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

*Статья поступила в редакцию 15 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 15 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*

4. Erdem, E. The removal of heavy metal cations by natural zeolites / Erdem E., Karapinar N., Donat R. // Journal of Colloid and Interface Science. 2004. № 2 (280). P. 309-314.

5. Golubeva, O.Yu. (2016). Porous aluminosilicates with a layered and frame structure: synthesis, properties and development of composite materials based on them for solving problems of medicine, ecology and catalysis: Diss. for the degree of Doctor of Chemical Sciences Saint Petersburg, 205-206. (in Russ).

6. Mishagin, K.A. [and others]. (2022). The influence of acid activation on the sorption characteristics of zeolite-containing siliceous rock. Bulletin of the Technological University. T.25, No. 6, 73-80. (in Russ). DOI: 10.55421/1998-7072\_2022\_25\_6\_73.

7. Mikhailova, O.A. (2007). Author's abstract. diss. ... Ph.D. tech. Sciences, Kazan. State technologist. University, Kazan, 18 p. (in Russ).

8. Dávila-Rangel, J.I., Solache-Ríos, M. (2006). Sorption of cobalt by two Mexican clinoptilolite rich tuffs zeolitic rocks and kaolinite. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 270, 2, 465-471.

9. Belova, T.P. (2018). Adsorption of manganese and lead by natural zeolite from aqueous solutions. Sorption and chromatographic processes. 15(5), 630-635. (in Russ). DOI: <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2015.15/314>.

10. Babel, S., Kurniawan, T.A. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. J. Hazard. Mater. B97, 219-243.

11. Sarimsakova, N.S., Faizullaev, N.I., Bakieva, Kh.A. (2022). Study of the physicochemical characteristics of clinoptilolite in the process of its modification. Universum: technical sciences. 1-3(94), 21-26. (In Russ).

12. Alekseev, V.N. (1954) Quantitative analysis. M. : Chemistry, 504 pp.

13. ГОСТ Р 51871-2002. Water purification devices. General requirements for efficiency and methods for its determination. Adopted and put into effect by Resolution of the State Standard of Russia dated February 18, 2002 N 64-Art.

## Information about the authors

*Yu.A. Tunakova - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Department of General Chemistry and Ecology, Kazan National Research Technical University named after I.I. A.N. Tupolev - KAI.*

*V.S. Valiev - Senior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, Institute of Problems of Ecology and Subsoil Use, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, RF.*

*G.N. Gabdrakhmanova - Candidate of Chemical Sciences, Assistant Professor, Department of General Chemistry and Ecology, Kazan National Research Technical University named after V.I. A.N. Tupolev - KAI.*



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 547.792; 66.095.253

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.028



## ФУНКЦИОнализированные производные 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она

Константин Константинович Босов<sup>1</sup>, Ирина Александровна Крупнова<sup>2</sup>,  
Екатерина Валерьевна Пивоварова<sup>3</sup>, Геннадий Тимофеевич Суханов<sup>4</sup>,  
Анна Геннадьевна Суханова<sup>5</sup>, Юлия Вадимовна Филиппова<sup>6</sup>

1, 2, 3, 4, 5, 6 Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), Бийск, Россия

<sup>1</sup> kosmos070@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8174-5626>

<sup>2</sup> irinka-krupnova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-7129>

<sup>3</sup> pivovarova.ekaterina@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9806-0770>

<sup>4</sup> suhanovlab7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1245-1549>

<sup>5</sup> nika7\_anna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5124-3796>

<sup>6</sup> filippova-yulia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2356-3140>

**Аннотация.** Интерес к пятичленным гетероциклическим соединениям 1,2,4-триазолового ряда, с одной стороны, обусловлен наличием нескольких реакционных центров в молекуле стартового триазолового синтона, что позволяет рассматривать такие структуры в качестве эффективного строительного блока при синтезе новых производных на их основе. С другой стороны, систематические исследования позволили обнаружить широкий спектр практически полезных и уникальных свойств указанного класса соединений и сделать их достаточно ценными объектами для использования в различных областях науки и техники. Поэтому исследования, направленные на создание новых производных 1,2,4-триазолового ряда, изучение их реакционной способности и свойств являются весьма актуальными и перспективными. В представленной работе осуществлен синтез ранее неизвестных 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-оновых производных, содержащих в своей структуре различные реакционноспособные функциональные группы в ряду: пропаргильная, цианометильная и аллилная. В основе создания функционализированных триазолоновых производных лежит реакция алкилирования активированной солевой формы 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-онового синтона различным типом алкилирующего агента (пропаргилбромид, хлорацетонитрил, аллилбромид) в среде полярного апротонного растворителя в присутствии органического катализатора. Структура полученного ряда новых функционализированных производных 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она надежно подтверждена с помощью комплексного исследования спектральными методами анализа (<sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C ЯМР- и ИК-спектроскопией). Методами ДСК и ТГА изучены термические свойства целевых продуктов. Введение в базовую структуру 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она новых достаточно реакционноспособных центров различного строения позволяет изменять физико-химические характеристики, расширять синтетический потенциал полученных соединений и делает их привлекательными объектами органического синтеза для создания новых потенциально биологически активных молекул.

**Ключевые слова:** 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-он, натриевая соль 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она, хлорацетонитрил, пропаргилбромид, аллилбромид, реакция алкилирования, функциональный алкилирующий агент, нуклеофильное замещение.

**Благодарности:** Исследование выполнено в рамках «базового» бюджетного финансирования (код научной темы FUFЕ-2024-0007, номер госрегистрации проекта № 124021200029-1) при использовании приборной базы Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

**Для цитирования:** Функционализированные производные 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она / К. К. Босов [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 186–195. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.028, EDN: <https://elibrary.ru/VJSBLH>.

Original article

## FUNCTIONALIZED DERIVATIVES OF 2-METHYL-5-NITRO-1,2,4-TRIAZOL-3-ONE

Konstantin K. Bosov <sup>1</sup>, Irina A. Krupnova <sup>2</sup>, Ekaterina V. Pivovarova <sup>3</sup>,  
Gennady T. Sukhanov <sup>4</sup>, Anna G. Sukhanova <sup>5</sup>, Yulia V. Filippova <sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> kosmos070@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8174-5626>

<sup>2</sup> irinka-krupnova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-7129>

<sup>3</sup> pivovarova.ekaterina@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9806-0770>

<sup>4</sup> suhanovlab7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1245-1549>

<sup>5</sup> nika7\_anna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5124-3796>

<sup>6</sup> filippova-yulia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2356-3140>

**Abstract.** The interest in five-membered heterocyclic compounds of the 1,2,4-triazole series arises from the presence of several reaction sites in the molecule of the starting triazole synthon, allowing these structures to be considered as an effective building block in the synthesis of new derivatives from them, on one hand. On the other hand, systematic studies have revealed a wide range of practically useful and unique properties of the said class of compounds, making them quite valuable objects for use in various science and technology fields. Therefore, the research towards designing new 1,2,4-triazole derivatives and investigating their reactivity and properties is very relevant and promising. The present study synthesized never-before-seen 2-methyl-5-nitro-1,2,4-triazol-3-one derivatives structurally bearing various reactive functional groups such as the propargyl, cyanomethyl and allyl. The creation of functionalized triazolone derivatives relies on the alkylation reaction of the activated salt form of 2-methyl-5-nitro-1,2,4-triazol-3-one synthon with different types of alkylating agent (propargyl bromide, chloroacetonitrile, allyl bromide) in a polar aprotic solvent over an organic catalyst. The structure of the obtained series of new functionalized derivatives of 2-methyl-5-nitro-1,2,4-triazol-3-one was reliably validated by comprehensive characterization using spectral analytical techniques (<sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C NMR and IR spectroscopy). The thermal behavior of the target products was studied by DSC and TGA methods. Incorporating new, sufficiently reactive sites of different nature into the basic structure of 2-methyl-5-nitro-1,2,4-triazol-3-one can modify the physicochemical characteristics and expand the synthetic potential of the derived compounds, and makes them attractive substrates for organic synthesis to design new, potentially bioactive molecules.

**Keywords:** 2-methyl-5-nitro-1,2,4-triazol-3-one, 2-methyl-5-nitro-1,2,4-triazol-3-one sodium salt, chloroacetonitrile, propargyl bromide, allyl bromide, alkylation reaction, functional alkylating agent, nucleophilic substitution.

**Acknowledgements:** The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project State Registration ID: 121061500029-7) using instrumentation provided by the Biysk Regional Center for Shared Use of Scientific Equipment of the SB RAS (IPCET SB RAS, Biysk).

**For citation:** Bosov, K.K., Krupnova, I.A., Pivovarova, E.V., Sukhanov, G.T., Sukhanova, A.G. & Filippova, Yu.V. (2024). Functionalized derivatives of 2-methyl-5-nitro-1,2,4-triazol-3-one. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 186-195. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.028, EDN: <https://elibrary.ru/VJSBLH>.

### ВВЕДЕНИЕ

Благодаря наличию широкого спектра практически важных и уникальных свойств азотсодержащие гетероциклические соединения вызывают значительный интерес исследователей в самых различных областях: фармацевтика [1], производство натуральных продуктов [2], химия полимеров [3], агрохимия [4], энергетические материалы [5] и др.

Нитропроизводные 1,2,4-триазола являются достаточно ценными и универсальными полупродуктами для органического синтеза, поскольку их структурные особенности обеспечивают возможность химической модификации

для получения функциональных материалов широкого назначения [6]. Преимуществом такого типа строительных элементов является наличие в молекуле большого числа реакционноспособных центров для введения различного типа заместителей и способность таких центров к функционализации за счет реакций электро- и нуклеофильного замещения [7–10].

Таким образом, с позиции фундаментальных исследований интерес к производным 1,2,4-триазола обусловлен широкими возможностями молекулярно-структурной модификации соединений на его основе, что, в свою очередь, открывает перспективы для создания функциональных материалов с заданными свойствами.

Помимо этого, исследования закономерностей и особенностей поведения триазоловых синтонов в малоизученных процессах их модификации представляют значительный интерес как с теоретической, так и с практической точки зрения и остаются актуальными на сегодняшний день.

В качестве базовой структуры для последующей функционализации в представленной работе использовалось N-алкил замещенное нитропроизводное 1,2,4-триазола: 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-он. За последние десятилетия произведено множество структурных модификаций триазолонового гетероцикла, а его производные широко исследуются на предмет их биологической активности [11]. Такие исследования показывают, что молекулы, в составе которых имеется триазолоновый цикл, обладают различными видами биологической активности, включая противогрибковую, анитбактериальную, противотуберкулезную и др. [11–14]. Кроме того, наличие в структуре гетероцикла NO<sub>2</sub>-группы в сравнении с 1,2,4-триазоловыми циклами, не имеющими нитрогруппы, демонстрирует большую эффективность и селективность таких структур в отношении различных этиологических агентов (патогенов) [15].

Наиболее известным и достаточно распространенным методом синтеза функциональных производных нитротриазолона является реакция алкилирования, которую проводят в различных средах [8, 10, 16–22]. В зависимости от условий реакции электрофильная атака соответствующим алкилирующим агентом может протекать как по атомам водорода нитротриазолонового цикла, так и по атому кислорода карбонильной группы [8, 10, 16–2].

Модификация молекулярной структуры 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она с использованием в качестве алкилирующих агентов галогенпроизводных, содержащих различный тип функциональной группы до наших исследований, не проводилась. В представленной работе осуществлен синтез ранее неизвестных 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-оновых производных, содержащих в своей структуре различные реакционноспособные функциональные группы в ряду: пропаргильная, цианометильная и аллильная. Оценены термические свойства и подробно описаны спектральные характеристики, обеспечивающие надежное подтверждение структуры целевых модифицированных соединений.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Инфракрасные спектры (ИК-спектры) синтезированных соединений записывали с использованием Фурье-спектрометра Симекс ФТ-801 в таблетках KBr.

<sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C ЯМР спектры регистрировали на спектрометре Bruker AV-400 с рабочей частотой 400 МГц и 100 МГц для ядер <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C со-

ответственно. В качестве внутреннего стандарта использовали характеристичные сигналы растворителя ДМСО-d<sub>6</sub> (δ 2.5 м.д. для ядер <sup>1</sup>H и 39.9 м.д. для ядер <sup>13</sup>C).

Оценку термических характеристик полученных соединений проводили с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии (метод ДСК) и термогравиметрического анализа (метод ТГА). Эксперименты проводились на термоанализаторах «DSC822e» и «TGA/SDTA851e» в интервале температур от 25 °С до 500 °С. Скорость линейного нагрева исследуемого образца в потоке инертного газа (азот) составляла 10 °С/мин.

### 2-Метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-он (1).

Исходный 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-он получали согласно разработанному в ИПХЭТ СО РАН двухстадийному селективному методу [17], основанному на реакции нуклеофильного замещения нитрогруппы 2-метил-3-нитро-1,2,4-триазола гидроксид-анионом с последующей нитрацией образованного на первой стадии 2-метил-1,2,4-триазол-5-она. Выход 84,0 %. T<sub>пл.</sub> = 225÷229 °С. ЯМР <sup>1</sup>H (400 МГц, ДМСО-d<sub>6</sub>), δ, м.д.: 13.81 (уш. с, 1H, N4-H); 3.44 (с, 3H, N2-CH<sub>3</sub>). ЯМР <sup>13</sup>C (100 МГц, ДМСО-d<sub>6</sub>), δ, м.д.: 153.08 (C3=O); 146.07 (C5-NO<sub>2</sub>); 32.87 (N2-CH<sub>3</sub>). ИК, ν, см<sup>-1</sup>: 2996, 2885, 2810, 2714, 1697, 1583, 1542, 1484, 1362, 1249, 1009, 791, 684.

### Натриевая соль 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она (2).

К 40 %-ной суспензии 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она в этаноле при 60 °С приливали 15 %-ный спиртовой раствор NaOH и перемешивали 30 мин. После охлаждения продукт отфильтровывали и высушивали при 80 °С до постоянной массы. Выход 89,8 %. ЯМР <sup>1</sup>H (400 МГц, ДМСО-d<sub>6</sub>), δ, м.д.: 3.47 (с, 3H, N2-CH<sub>3</sub>). ЯМР <sup>13</sup>C (100 МГц, ДМСО-d<sub>6</sub>), δ, м.д.: 163.41 (C3=O); 158.56 (C5-NO<sub>2</sub>); 32.04 (N2-CH<sub>3</sub>). ИК, ν, см<sup>-1</sup>: 1636, 1553, 1497, 1457, 1391, 1296, 1235, 1010, 808, 684.

Все другие химические вещества приобретены у коммерческих поставщиков и использовались без дополнительной очистки.

*Общая методика синтеза функционализированных производных 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она (6–8).* Раствор, состоящий из натриевой соли 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она (5 ммоль), соответствующего алкилирующего агента в исследованном ряду (5 ммоль), тетрабутиламмония бромистого (ТБАБ, 0,5 ммоль) и диметилформамида (ДМФА, 10 мл), выдерживали при 80 °С в течение 24 ч.

При использовании в качестве алкилирующего агента пропаргилбромид или ал-

лилбромиды после удаления растворителя при пониженном давлении твердый остаток обрабатывали диэтиловым эфиром с последующим удалением растворителя из экстракта.

При использовании в реакции хлорацетонитрила после удаления растворителя при пониженном давлении остаток обрабатывали водой и отфильтровывали.

Полученный продукт высушивали в вакууме при 60 °С до постоянной массы.

**2-Метил-5-нитро-4-проп-2-инил-1,2,4-триазол-3-он (6).** Выход 80,1 %.  $T_{пл.} = 102\div 106$  °С. ЯМР  $^1H$  (400 МГц, ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м.д.: 4.73 (с, 2H,  $N4-CH_2$ ); 3.53 (с, 3H,  $N2-CH_3$ ); 3.41 (с, 1H,  $\equiv CH$ ). ЯМР  $^{13}C$  (100 МГц, ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м.д.: 151.50 ( $C3=O$ ); 143.99 ( $C5-NO_2$ ); 77.56 ( $-C\equiv CH$ ); 75.79 ( $-C\equiv CH$ ); 34.05 ( $N2-CH_3$ ); 33.63 ( $N4-CH_2$ ). ИК,  $\nu$ ,  $cm^{-1}$ : 3242, 3109, 2941, 2128, 1720, 1550, 1526, 1433, 1368, 1262, 1185, 1022, 961, 725, 677.

**2-(1-Метил-3-нитро-5-оксо-1,2,4-триазол-4-ил)-ацетонитрил (7).** Выход 68,4 %.  $T_{пл.} = 154\div 157$  °С. ЯМР  $^1H$  (400 МГц, ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м.д.: 5.07 (с, 2H,  $N4-CH_2$ ); 3.52 (с, 3H,  $N2-CH_3$ ). ЯМР  $^{13}C$  (100 МГц, ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м.д.: 151.34 ( $C3=O$ ); 143.80 ( $C5-NO_2$ ); 115.08 ( $-C\equiv N$ ); 33.73 ( $N2-CH_3$ ); 32.40 ( $N4-CH_2$ ). ИК,  $\nu$ ,  $cm^{-1}$ : 2996, 2951, 1716, 1544, 1453, 1360, 1264, 1039, 928, 883, 722.

**2-Метил-5-нитро-4-проп-2-енил-1,2,4-триазол-3-он (8).** Выход 79,9 %.  $T_{пл.} = 75\div 78$  °С. ЯМР  $^1H$  (400 МГц, ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м.д.: 5.07 (с, 2H,  $N4-CH_2$ ); 3.52 (с, 3H,  $N2-CH_3$ ). ЯМР  $^{13}C$  (100 МГц, ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м.д.: 151.34 ( $C3=O$ ); 143.80 ( $C5-NO_2$ ); 115.08 ( $-C\equiv N$ ); 33.73 ( $N2-CH_3$ ); 32.40 ( $N4-CH_2$ ). ИК,  $\nu$ ,  $cm^{-1}$ : 3081, 2948, 1706, 1535, 1450, 1427, 1347, 1261, 1035, 918, 786, 724.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве стартовой молекулы для последующей молекулярно-структурной модификации использовали 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-он (**1**, рисунок 1). Основными реакционными центрами метилзамещенного нитротриазолона в зависимости от условий могут выступать как атом водорода, связанный с эндоциклическим атомом азота  $N4$  гетероцикла, так и атом кислорода карбонильной группы.

В основе химического преобразования выбранного реакционноспособного субстрата **1** лежит реакция алкилирования. Для введения различного типа функционального заместителя в структуру метилнитротриазолона в качестве алкилирующих агентов выбраны органические галогениды различного структурного строения, содержащие двойную ( $CH=CH_2$ ), тройную ( $C\equiv CH$ ) углерод-углеродную и тройную ( $C\equiv N$ ) углерод-азотную связи, а также различный атом галогена (Br, Cl):

*POLZUNOVSKIY VESTNIK № 4 2024*

пропаргилбромид (**3**), хлорацетонитрил (**4**) и аллилбромид (**5**).

Известно, что в зависимости от кислотности исходного 1,2,4-триазолового производного в процессе алкилирования в качестве нуклеофильного реагента можно использовать как триазолат-анион, так и свободную NH-форму [22]. В нашем случае для увеличения нуклеофильности метилнитротриазолона использовали в солевой форме с катионами натрия. Получение натриевой соли 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она (**2**) осуществляли взаимодействием исходного 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она со щелочным агентом (NaOH) в спиртовой среде при 60 °С (рисунок 1).

Непосредственно взаимодействием активированного метилзамещенного нитротриазолонового синтона (**2**) с выбранными алкилирующими агентами проводили при эквимолярном соотношении реагирующих веществ и температуре 80 °С. Для эффективного протекания реакции алкилирования в качестве реакционной среды использовали полярный апротонный растворитель диметилформамид (ДМФА), который достаточно хорошо способен сольватировать катион металла в выбранных условиях процесса. Известно [23], что в растворителях с низкой диэлектрической проницаемостью катион-анионное взаимодействие оказывает сильное влияние на скорость реакции анионов с нейтральными молекулами, тогда как переход к растворителям с сильной специфической сольватацией катионов (такими как ДМФА) приводит к значительному увеличению скорости реакции за счет способности такого рода сильно полярных растворителей к разделению ионных пар в органической фазе. Кроме того, обладая высоким донорным числом, ДМФА способен эффективно сольватировать катион металла, что, в свою очередь, дополнительно обеспечит увеличение реакционной способности метилнитротриазолонат-аниона.

Помимо этого, нуклеофильное замещение атома галогена в структуре алкилирующего агента метилнитротриазолонат-анионом проводили в присутствии 10 мол. % органического катализатора (четвертичной алкиламмониевой соли) – тетрабутиламмоний бромистого (ТБАБ).

В процессе исследования установлено, что при равных температурно-временных параметрах реакции алкилирования (80 °С, 24 ч) и эквимолярном соотношении реагентов выход целевых продуктов зависит от активности атома галогена в структуре алкилирующего агента. Благодаря большей подвижности (активности) атома брома по сравнению с хлором в реакциях нуклеофильного замещения выход целевых продуктов при использовании бромсодержащих агентов возрастает.



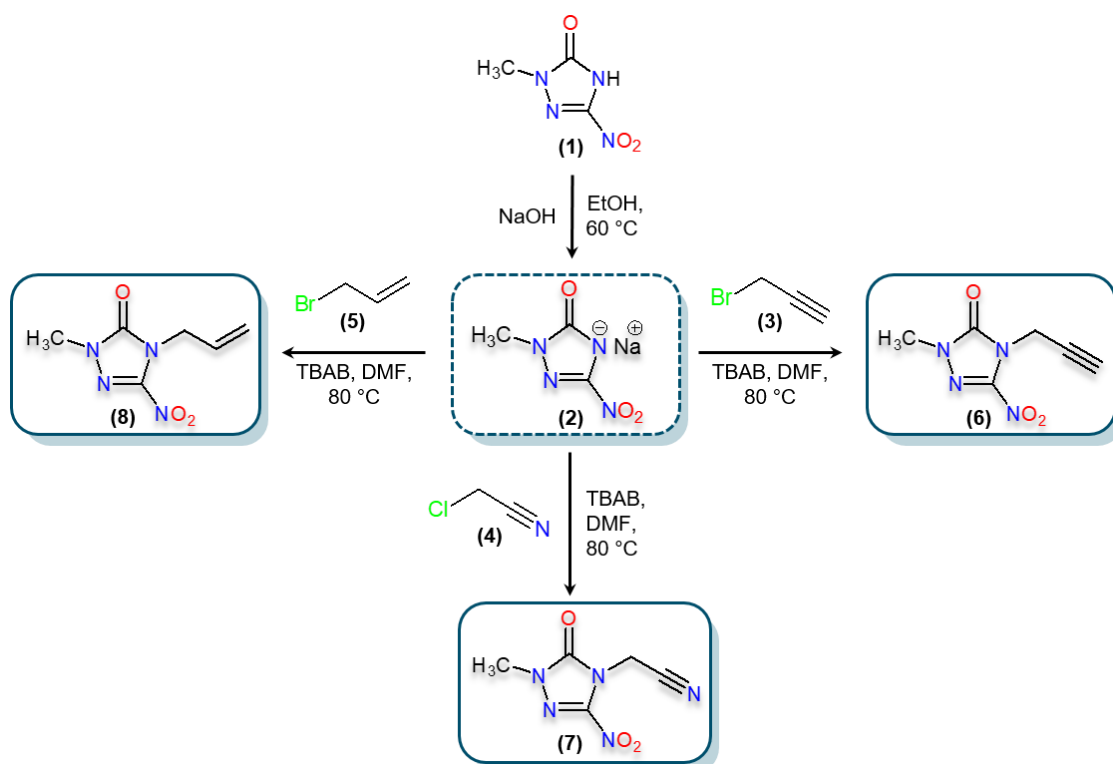


Рисунок 1 – Схема получения функционализированных производных 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она

Figure 1 – Synthetic protocol for functionalized derivatives of 2-methyl-5-nitro-1,2,4-triazol-3-one

Так, при участии в процессе бромсодержащих реагентов (пропаргил- (3) и аллилбромида (5)) выход продуктов их взаимодействия с активированным метилнитротриазолоновым субстратом составляет 80,1 % (для соединения 6) и 79,9 % (для 8) соответственно. Цианометилирование натриевой соли 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она хлорацетонитрилом (4) приводит к целевой структуре 7 с выходом 68,4 %.

Контроль процесса взаимодействия натриевой соли 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она с соответствующим функциональным алкилирующим агентом, а также подтверждение строения полученных соединений осуществляли на основании анализа данных  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  ЯМР- и ИК спектров.

В спектрах протонного магнитного резонанса синтезированных соединений 6–8 (рисунок 2) присутствуют сигналы, характерные по химическим сдвигам, интенсивности и характеру расщепления для предполагаемых групп протонов и подтверждающие строение целевых структур. Синглет от трех протонов экзоциклической метильной группы (a, N2–CH<sub>3</sub>) нитротриазолонового гетероцикла в  $^1\text{H}$  ЯМР спектре полученных соединений 6–8 расположен в сильной области магнитного поля при 3.52÷3.53 м.д.

Сигналы протонов пропаргильного заместителя соединения 6 регистрируются в виде двух синглетов. Первый расположен в слабой области спектра при 4.73 м.д. и относится к сигналам протонов метиленового мостика, соединяющего метилнитротриазолоновый гетероцикл с тройной углерод-углеродной связью заместителя (b, N4–CH<sub>2</sub>). Второй синглет, относящийся к единственному протону при тройной связи заместителя, наблюдается в более сильном поле при 3.41 м.д. (c, –C≡CH).

Для продукта взаимодействия исходного синтона с хлорацетонитрилом (соединение 7) синглет протонов метиленового мостика цианометильной группы расположен в слабой области поля при 5.07 м.д. (b, N4–CH<sub>2</sub>).

В области 4.54÷4.55 м.д. в протонном спектре полученного аллилированного производного 8 регистрируется дублет от протонов метиленового мостика заместителя (b, N4–CH<sub>2</sub>). В более слабой области при 5.14÷5.20 м.д. и 5.90÷5.98 м.д. расположены характерные уширенный дублет (c, –CH=CH<sub>2</sub>) и сложный мультиплет (d, –CH=CH<sub>2</sub>) от протонов, расположенных при двойной углерод-углеродной связи аллильного заместителя.

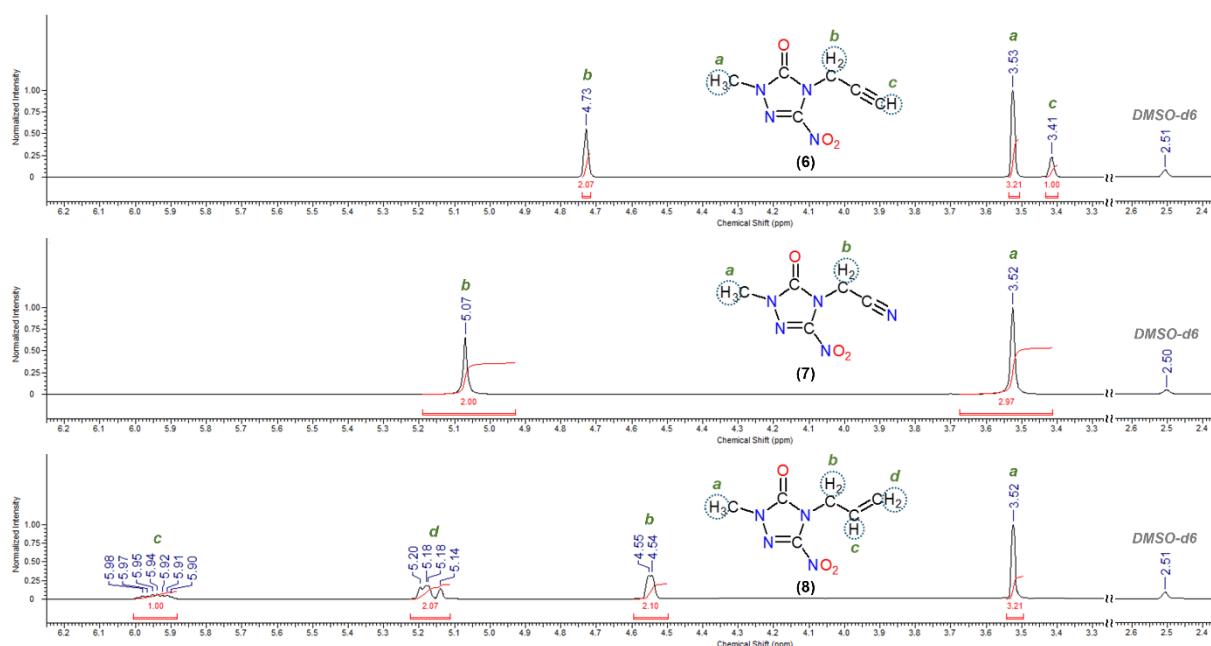


Рисунок 2 –  $^1\text{H}$  ЯМР-спектры функционализированных производных 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она (**6–8**)

Figure 2 –  $^1\text{H}$  NMR spectra of functionalized derivatives of 2-methyl-5-nitro-1,2,4-triazol-3-one (**6–8**)

В  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектрах полученных соединений **6–8** (рисунок 3) наблюдаются резонансные сигналы от атомов углерода метилнитротриазолонового цикла. В сильной области спектра при  $33.52 \div 34.05$  м.д. расположены сигналы от углерода экзоциклической метильной группы (**a'**,  $\text{N2}-\text{C}\text{H}_3$ ), в слабой области при  $151.34 \div 151.97$  м.д. и  $143.80 \div 144.75$  м.д. находятся эндоциклические атомы углерода, связанные с карбонильной (**c'**,  $-\text{C}=\text{O}$ ) и нитрогруппой (**b'**,  $-\text{C5}-\text{NO}_2$ ) соответственно.

Атомы углерода метиленового мостика, соединяющего метилнитротриазолоновый гетероцикл с соответствующим функциональным заместителем (**d'**,  $\text{N4}-\text{C}\text{H}_2$ ), наблюдаются при 33.63 м.д. (для соединения **6**), 32.40 м.д. (для **7**) и 46.23 м.д. (для **8**).

Сигнал от четвертичного углеродного атома тройной углерод-углеродной связи пропаргильного производного **6** расположен при 77.56 м.д. (**e'**,  $-\text{C}\equiv\text{CH}$ ), а от третичного атома углерода – при 75.79 м.д. (**f'**,  $-\text{C}\equiv\text{CH}$ ), то есть в характерных для такого рода углеводородов областях.

Резонансный сигнал от четвертичного атома углерода тройной углерод-азотной связи для функционализованного цианометильным заместителем соединения **7** расположен в спектре в средней области 115.08 м.д. (**e'**,  $-\text{C}\equiv\text{N}$ ).

Для продукта **8** сигнал от третичного углеродного атома аллильного заместителя находится при 132.28 м.д. (**e'**,  $-\text{CH}=\text{CH}_2$ ), а от вторичного атома углерода – при 117.72 м.д. (**f'**,  $-\text{CH}=\text{CH}_2$ ).

В ИК-спектрах полученных функционализированных производных 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она **6–8** (рисунок 4) присутствуют полосы поглощения основных характеристических колебаний связей и групп атомов, подтверждающих структурное построение полученных в ходе химической модификации структур.

Так, независимо от типа алкилирующего агента для всех продуктов **6–8** в спектрах сохраняются полосы поглощения  $-\text{C}=\text{O}$  и  $-\text{NO}_2$  групп, связанных с нитротриазолоновым гетероциклом. Интенсивные валентные колебания карбонильной группы гетероцикла расположены при  $1706 \div 1722$   $\text{cm}^{-1}$ . Полосы поглощения нитрогруппы локализованы в нескольких спектральных интервалах: при  $1526 \div 1544$   $\text{cm}^{-1}$  (симметричные валентные, антифазные),  $1348 \div 1368$   $\text{cm}^{-1}$  (синфазные) и  $810 \div 819$   $\text{cm}^{-1}$  (деформационные колебания).

Кроме того, в спектрах присутствуют характерные слабоинтенсивные колебания  $-\text{C}=\text{N}$ ,  $-\text{C}-\text{N}$  связей и скелетные колебания триазолонового кольца: при  $1261 \div 1264$   $\text{cm}^{-1}$ ,  $1022 \div 1039$   $\text{cm}^{-1}$ ,  $784 \div 786$   $\text{cm}^{-1}$  и  $722 \div 725$   $\text{cm}^{-1}$ .

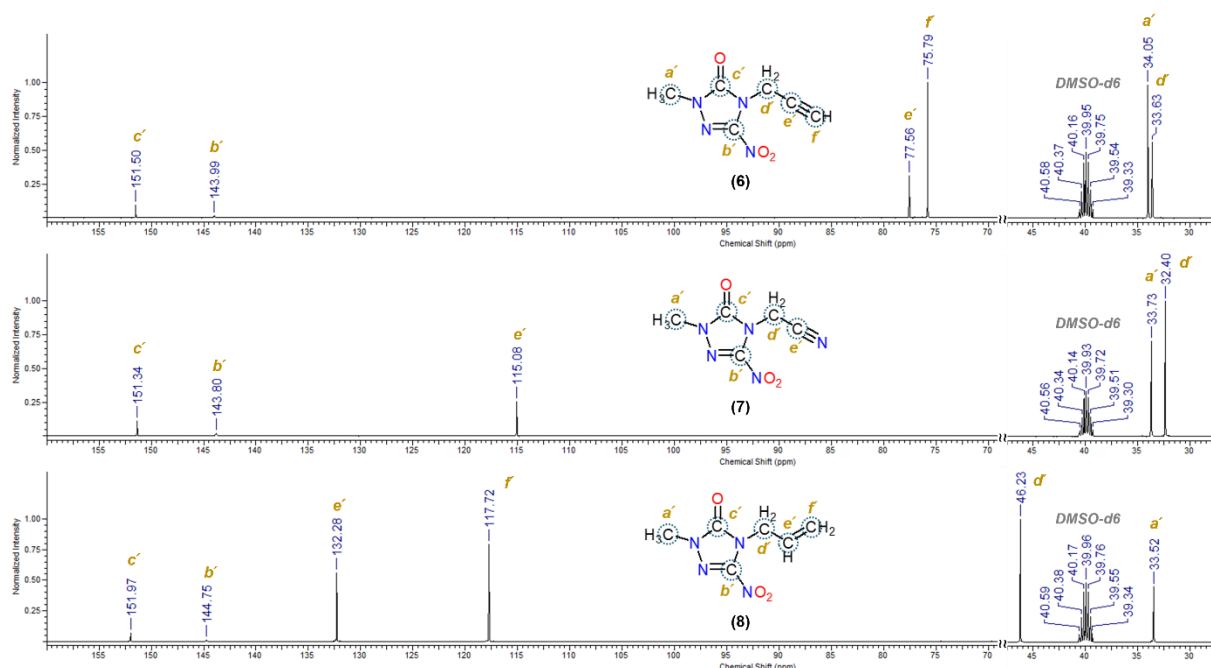


Рисунок 3 –  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектры функционализированных производных 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она (**6–8**)

Figure 3 –  $^{13}\text{C}$ NMR spectra of functionalized derivatives of 2-methyl-5-nitro-1,2,4-triazol-3-one (**6–8**)

В ИК-спектре продукта пропаргилирования метилнитротриазолона в области  $3242\text{ см}^{-1}$  наблюдаются полосы поглощения средней интенсивности, характерные для валентных колебаний C–N связи, расположенной при тройной углерод-углеродной связи алкильного заместителя. В области  $2128\text{ см}^{-1}$  регистрируются слабоинтенсивные полосы валентных колебаний тройной углерод-углеродной связи пропаргильного заместителя продукта **6**.

Следует отметить, что нам не удалось обнаружить характерную полосу валентных колебаний тройной углерод-азотной связи в ИК спектре (в области  $2200\div 2300\text{ см}^{-1}$ ) соединения **7**. По-видимому, это объясняется тем, что введение в молекулу метилнитротриазолонового гетероцикла цианометильного заместителя приводит к значительному уменьшению интенсивности полосы поглощения –C≡N связи. Подобный эффект наблюдается для гетероциклических соединений, одновременно содержащих в структуре карбонильную и цианометильную группы [24].

Характерные полосы поглощения аллильной группы для соединения **8** проявляются в ИК спектре в виде слабоинтенсивных полос валентных колебаний двойной углерод-углеродной связи: при  $3081\text{ см}^{-1}$  (C–H) и  $1646\text{ см}^{-1}$  (C=C).

Анализ спектральных характеристик подтверждает намеченное направление реакции в исследованных условиях и успешную N-функционализацию метилнитротриазолонового гетероцикла. Введение функциональных заме-

стителей (пропаргильного, цианометильного и аллильного) в молекулу 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она по средствам реакции алкилирования в найденных условиях протекает по эндоциклическому атому азота N4 гетероцикла, при этом другой реакционный центр исходного субстрата (кислород карбонильной группы) не участвует в реакции.

Синтезированные производные при нормальных условиях являются твердыми веществами, растворимыми в органических растворителях (ацетоне, этаноле, диэтиловом эфире, ДМФА, ДМСО). В отличие от производного **7**, содержащего цианометильную группу, соединения **6** и **8** достаточно хорошо растворимы в воде, по-видимому, за счет большей способности аллильного и пропаргильного заместителей к образованию водородных связей.

Введение в структуру метильного производного нитротриазолона заместителей с различным типом функциональных групп позволяет целенаправленно изменять свойства конечных продуктов алкилирования. Так, исследование термических характеристик синтезированных соединений **6–8** показало их существенную зависимость от алкильного заместителя, находящегося в молекуле гетероцикла в исследованном ряду. Оценку влияния типа заместителя на термическую стабильность проводили с помощью методов ДСК и ТГА, в интервале температур  $25\div 500\text{ °C}$ .

Исходный 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-он (**1**) в ходе нагревания в условиях анализа

методом ДСК при достижении температурного значения, равного 232,4 °С (максимум пика на термограмме ДСК), претерпевает два последовательных фазовых перехода, первый из которых имеет эндотермический характер и относится к переходу соединения из твердой фазы в жидкую. Сразу за эффектом плавления следует второй переход – экзотермический эффект, который связан с разложением метилнитротриазолона.

Химическое преобразование структуры 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она приводит к изменению характера термической стабильности модифицированной молекулы. В целом термограммы синтезированных продуктов **6–8** однотипны: наблюдаются два независимых фазовых перехода, имеющих только эндотермический характер. Первый эффект характеризует температуру плавления ( $T_{пл.}$ ) кристаллической структуры, второй (в виде уширенного сигнала) – температуру испарения ( $T_{исп.}$ ). При этом в сравнении с исходным незамещенным 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-оном на термограммах исследованных соединений полностью отсутствует экзотермический эффект, связанный с температурой разложения вещества, а значение температурного максимума эффекта плавления существенно снижено. Так, наличие в молекулярной структуре метилнитротриазолонцианометильного заместителя по данным ДСК приводит к снижению значения температуры плавления до уровня 155,3 °С (для соединения **7**). Модификация исходной структуры путем введения пропаргильного заместителя приводит к снижению значения  $T_{пл.}$  до величины 102,3 °С (соединение **6**). Еще более существенному снижению  $T_{пл.}$  до 77,2 °С способствует введение аллильного заместителя (соединение **8**).

Значение величины температуры испарения (по максимуму пика на термограмме ДСК) в зависимости от типа заместителя в структуре метилнитротриазолонового гетероцикла в сторону её снижения можно расположить в ряду: цианометильный ( $T_{исп.} = 264,9$  °С для **7**), пропаргильный ( $T_{исп.} = 226,7$  °С для **6**), аллильный ( $T_{исп.} = 199,1$  °С для **8**) заместитель. При этом, по данным метода ТГА, исследованные образцы по завершении эффекта испарения теряют от 93 % до 98 % массы от первоначального значения.

Как упоминалось ранее, молекулы, в структуре которых имеется нитротриазолоновый гетероцикл, обладают различного рода биологической активностью. В нашем случае помимо самого упомянутого гетероцикла синтезированные в ходе исследования соединения дополнительно обогащены реакционноспособными и весьма функциональными группами, поскольку известно, что пропаргильная, аллильная и цианогруппа входят в состав ряда биологически активных соединений [25] и способны

участвовать в различных химических реакциях. Таким образом, результаты представленного исследования открывают широкие возможности в направлении создания новых важных с практической точки зрения производных на основе нитротриазолоновых гетероциклов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты анализа целевых структур свидетельствуют о гладком и избирательном протекании процесса нуклеофильного замещения атома галогена в структуре функционального алкилирующего агента (**3–5**) метилнитротриазолонат-анионом (**2**) с образованием единственных продуктов присоединения по одному из реакционных центров молекулы синтона – атому азота N4 гетероцикла (продукты N-алкилирования **6–8**). При этом второй реакционный центр (атом кислорода карбонильной группы) активированного субстрата **2** в найденных условиях исследованной реакции участия не принимает, а функциональные группы (двойная, тройная углерод-углеродные и тройная углерод-азотная связи) алкильного заместителя во вновь образованной модифицированной структуре остаются неизменными. Введение в молекулу 2-метил-5-нитро-1,2,4-триазол-3-она новых реакционноспособных центров ( $-\text{CH}=\text{CH}_2$ ,  $-\text{C}\equiv\text{CH}$ ,  $-\text{C}\equiv\text{N}$ ) позволяет не только изменять физико-химические характеристики ( $T_{пл.}$ ,  $T_{исп.}$ ), но и расширяет их синтетические возможности и делает привлекательными объектами органического синтеза для создания новых потенциально биологически активных молекул.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. An overview of the biological evaluation of selected nitrogen-containing heterocycle medicinal Chemistry compounds / O. Ebenezer [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2022. № 23. Vol. 23. P. 8117. <https://doi.org/10.3390/ijms23158117>.
2. Recent advances in the biosynthesis strategies of nitrogen heterocyclic natural products / B. Gao [et al.] // Natural Product Reports. 2022. Vol. 39. P. 139–162. <https://doi.org/10.1039/D1NP00017A>.
3. Fluorescent chemosensors based on conjugated polymers with N-heterocyclic moieties: two decades of progress / T. Wang [et al.] // Polymer Chemistry. 2020. Vol. 11. P. 3095–3114. <https://doi.org/10.1039/D0PY00336K>.
4. Research progress in the design and synthesis of herbicide safeners: a review / L. Jia [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2022. Vol. 70. P. 5499–5515. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c01565>.
5. N-Acetonitrile functionalized 3-nitrotriazole: Precursor to nitrogen rich stable and insensitive energetic materials / P. Bhatia [et al.] // Energetic Materials Frontiers. 2024. Vol. 5. P. 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.enmf.2024.01.003>.
6. Nitro compounds as the core structures of promising energetic materials and versatile reagents for organic synthesis / S.G. Zlotin [et al.] // Russian Chemical Reviews. 2020. Vol. 89. P. 1–54. <https://doi.org/10.1070/rcr4908>.
7. Grigoriev Y.V. Alkylation of 3-nitro-1,2,4-triazole with allyl bromide and cyclo-hexa-1,3-diene in acid medium //

Russian Journal of Organic Chemistry. 2012. Vol. 48. P. 610–612. <https://doi.org/10.1134/s1070428012040288>.

8. Chipen G.I. Alkylation of 5-nitro-1,2,4-triazol-3-one // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1969. Vol. 5. P. 123–124. <https://doi.org/10.1007/BF01031789>.

9. Synthesis and Physicochemical Properties of Energetic 1,2,4,5-Tetrazinyl Derivatives of 5-Nitro-2,4-dihydro-1,2,4-triazol-3-one / G.F. Rudakov [et al.] // *Chemistry Select*. 2021. Vol. 6. P. 7654–7662. <https://doi.org/10.1002/slct.202102160>.

10. Этилирование 3-нитро-1,2,4-триазол-5-она диэтилсульфатом / И.А. Крупнова [и др.] // *Ползуновский Вестник*. 2016. № 4–1. С. 124–126.

11. Pramod P., Poonam C., Nilesh C. Synthesis of N-Methyl triazolone derivatives as Antitubercular agent: Synthesis new series of Triazolone derivatives fused with aromatic Aldehyde for anti-tubercular activity. London : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2022. 120 p.

12. Synthesis and antitubercular activity of some novel N-methyl triazolone derivatives / P. Pramod [et al.] // *Der Pharma Chemica*. 2014. Vol. 6. P. 131–136.

13. Click chemistry based regioselective one-pot synthesis of coumarin-3-yl-methyl-1,2,3-triazolyl-1,2,4-triazol-3(4H)-ones as newer potent antitubercular agents / S.M. Somagond [et al.] // *Arch Pharm Chem Life Sci*. 2019. 352. 1900013. <https://doi.org/10.1002/ardp.201900013>.

14. Microwave assisted regioselective synthesis of quinoline appended triazoles as potent anti-tubercular and antifungal agents via copper (I) catalyzed cycloaddition / A.R. Nesaragi [et al.] // *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2021. Vol. 41. 127984. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2021.127984>.

15. The Medicinal Chemistry of 3-nitro-1,2,4-triazoles: Focus on Infectious Diseases / R.R.F. França [et al.] // *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 2021. Vol. 21. P. 2072–2100. <https://doi.org/10.2174/1568026621999210902124524>.

16. Methylation of 3-nitro-1,2,4-triazol-5-one / T.P. Kofman [et al.] // *Journal of Organic Chemistry*. 1980. Vol. 2. P. 420–425. <https://doi.org/10.1002/chin.198024180>.

17. Krupnova, I.A. A New Selective Method for the Synthesis of 1-Alkyl-3-nitro-1,2,4-triazol-5-ones // *Chemistry for Sustainable Development*. 2019. Vol. 27. P. 402–407. <https://doi.org/10.15372/CSD2019157>.

18. Adamantylazoles: VIII. Acid-catalyzed adamantylation of 1,2,4-triazol-5-ones / A.D. Amandurdyeva [et al.] // *Russian Journal of General Chemistry*. 2004. Vol. 8. P. 1277–1281. <https://doi.org/10.1007/s11176-005-0151-z>.

19. Адамантилирование 1-алкил-3-нитро-1,2,4-триазол-5-онов / Г.Т. Суханов [и др.] // *Южно-Сибирский Научный Вестник*. 2017. № 4. С. 117–120.

20. Kofman T.P. 3-Nitro-1,2,4-triazol-5-one derivatives // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1981. Vol. 4. P. 406–412. <https://doi.org/10.1007/bf00503348>.

21. Kofman T.P.  $\alpha$ -Oxides in reaction with N–H acids of the heterocyclic series. IV. Alkylation of 1-methyl-3-nitro-1,2,4-triazol-5-one with olefin oxides // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 1977. Vol. 13. P. 1129–1132. <https://doi.org/10.1007/BF00480153>.

22. Кофман Т.П. Развитие химии 3-нитро-5-R-1,2,4-триазолов в Технологическом институте. Часть 1. (Обзор) // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2010. № 7. С. 42–48.

23. Синтез, кинетика и механизм реакции алкилирования салцилата калия аллилбромидом / А.К. Брель [и др.] // *Бутлеровские сообщения*. 2012. № 5. С. 60–63.

24. Synthesis and Some Transformations of 5-Aryl-4-(4-halogenaroyl)-3-hydroxy-1-cyanomethyl-3-pyrrolin-2-ones / V.L. Gein [et al.] // *Russian Journal of General Chemistry*. 2020. Vol. 90. P. 2225–2229. <https://doi.org/10.1134/S1070363220120026>.

25. Potential Antitumor Agents, VIII<sup>1)</sup> Allyl, Propargyl

and Cyanomethyl Esters of Imidazo[2,1-b]thiazole-5-carboxylic Acids / A. Andreani [et al.] // *Archiv Der Pharmazie*. 1983. Vol. 316. P. 141–146. <https://doi.org/10.1002/ardp.19833160210>.

### Информация об авторах

К. К. Босов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Химии и технологии высокоэнергетических азолов» ИПХЭТ СО РАН.

И. А. Крупнова – младший научный сотрудник лаборатории «Химии и технологии высокоэнергетических азолов» ИПХЭТ СО РАН.

Е. В. Пивоварова – младший научный сотрудник, аспирант лаборатории «Химии и технологии высокоэнергетических азолов» ИПХЭТ СО РАН.

Г. Т. Суханов – доктор химических наук, главный научный сотрудник лаборатории «Химии и технологии высокоэнергетических азолов» ИПХЭТ СО РАН.

А. Г. Суханова – кандидат химических наук, заведующий лабораторией «Химии и технологии высокоэнергетических азолов» ИПХЭТ СО РАН.

Ю. В. Филиппова – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Химии и технологии высокоэнергетических азолов» ИПХЭТ СО РАН.

### REFERENCES

1. Ebenezer, O., Jordaan, M.A., Carena, G., Bono, T., Shapi, M. & Tuszyński, J.A. (2022). An Overview of the Biological Evaluation of Selected Nitrogen-Containing Heterocyclic Medicinal Chemistry Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, (15), 8117. <https://doi.org/10.3390/ijms23158117>.

2. Gao, B., Yang, B., Feng, X. & Li, C. (2022). Recent advances in the biosynthesis strategies of nitrogen heterocyclic natural products. *Natural Product Reports*, (39), P. 139–162. <https://doi.org/10.1039/D1NP00017A>.

3. Wang, T., Zhang N., Bai, W. & Bao, Y. (2020). Fluorescent chemosensors based on conjugated polymers with N-heterocyclic moieties: two decades of progress. *Polymer Chemistry*, (11), 3095–3114. <https://doi.org/10.1039/D0PY00336K>.

4. Jia, L., Jin, X.-Y., Zhao L.-X., Fu, Y. & Ye, F. (2022). Research progress in the design and synthesis of herbicide safeners: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (70), 5499–5515. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c01565>.

5. Bhatia, P., Priya, P.S., Das, P. & Kumar, D. (2024). N-Acetonitrile functionalized 3-nitrotriazole: Precursor to nitrogen rich stable and insensitive energetic materials. *Energetic Materials Frontiers*, (5), 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.enmf.2024.01.003>.

6. Zlotin, S.G., Dalinger, I.L., Makhova, N.N. & Tartakovsky, V.A. (2020). Nitro compounds as the core structures of promising energetic materials and versatile reagents for organic synthesis. *Russian Chemical Reviews*, (89), 1–54. <https://doi.org/10.1070/rcr4908>.

7. Grigoriev, Y.V., Voitekhovich, S.V. & Ivashkevich, O.A. (2012). Alkylation of 3-nitro-1,2,4-triazole with allyl bromide and cyclo-hexa-1,3-diene in acid medium. *Russian Journal of Organic Chemistry*, (480), 610–612. <https://doi.org/10.1134/s1070428012040288>.

8. Chipen, G.I. & Bokaldere, R.P. (1969). Alkylation of 5-nitro-1,2,4-triazol-3-one. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, (5), 123–124. <https://doi.org/10.1007/BF01031789>.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2024

9. Rudakov, G.F., Kozlov, I.B., Boev, N.V., Zinchenko, S.S., Melnikova, L.Ya., Egorshv, V.Yu. & Sinditskii, V.P. (2021). Synthesis and Physicochemical Properties of Energetic 1,2,4,5-Tetrazinyl Derivatives of 5-Nitro-2,4-dihydro-1,2,4-triazol-3-one. *Chemistry Select*, (6), 7654-7662. <https://doi.org/10.1002/slct.202102160>.
10. Krupnova, I.A., Sukhanov, G.T., Filippova, Y.V., Sukhanova, A.G., Bosov, K.K. & Istoshina, V.A. (2016). Ethylation of 3-nitro-1,2,4-triazol-5-one with diethyl sulfate. *Polzunovskiy Vestnik*, (4-1), 124-126. (In Russ.).
11. Pramod, P., Poonam, C. & Nilesh, C. (2022). Synthesis of N-Methyl triazolone derivatives as Antitubercular agent: Synthesis new series of Triazolone derivatives fused with aromatic Aldehyde for anti-tubercular activity. London: LAP LAMBERT Academic Publishing.
12. Pramod, B.P., Suhas, S.A., Sachin, R.K., Rajanikant, B.G. & Shitalkumar, S.P. (2014). Synthesis and antitubercular activity of some novel N-methyl triazolone derivatives. *Der Pharma Chemica*, (6), 131-136.
13. Somagond, S.M., Kamble, R.R., Bayannavar, P.K., Shaikh, S.K.J., Joshi, S.D., Kumbar, V.M., Nesaragi, A.R. & Kariduraganavar, M.Y. (2019). Click chemistry based regioselective one-pot synthesis of coumarin-3-yl-methyl-1,2,3-triazolyl-1,2,4-triazol-3(4H)-ones as newer potent antitubercular agents. *Arch Pharm Chem Life Sci.*, (352), 1900013. <https://doi.org/10.1002/ardp.201900013>.
14. Nesaragi, A.R., Kamble, R.R., Bayannavar, P.K., Shaikh, S.K.J., Hoolageri, S.R., Kodasi, B., Joshi, S.D. & Kumbar, V.M. (2021). Microwave assisted regioselective synthesis of quinoline appended triazoles as potent antitubercular and antifungal agents via copper (I) catalyzed cycloaddition. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, (41), 127984. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2021.127984>.
15. Franca, R.R.F., Menozzi, C.A.C., Castelo-Branco, F.S., Hoelz, L.V.B. & Boechat, N. (2021). The Medicinal Chemistry of 3-nitro-1,2,4-triazoles: Focus on Infectious Diseases. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, (21), 2072-2100. <https://doi.org/10.2174/1568026621999210902124524>.
16. Kofman, T., Pevzner, M.S., Zhukova, L., Kravchenko, T.A. & Frolova, G. (1980). Methylation of 3-nitro-1,2,4-triazol-5-one. *Journal of Organic Chemistry*, (2), 420-425. <https://doi.org/10.1002/chin.198024180>.
17. Krupnova, I.A. & Sukhanov, G.T. (2019). A New Selective Method for the Synthesis of 1-Alkyl-3-nitro-1,2,4-triazol-5-ones. *Chemistry for Sustainable Development*, (27), 402-407. <https://doi.org/10.15372/CSD2019157>.
18. Amandurdyeva, A.D., Saraev, V.V., Kuz'mina, N.E. & Golod, E.L. (2004). Adamantylazoles: VIII. Acid-catalyzed adamantylation of 1,2,4-triazol-5-ones. *Russian Journal of General Chemistry*, (8), 1277-1281. <https://doi.org/10.1007/s11176-005-0151-z>.
19. Sukhanov, G.T., Sukhanova, A.G., Bosov, K.K., Filippova, Y.V., Istoshina, V.A. & Krupnova, I.A. (2017). Adamantylation of 1-Alkyl-3-nitro-1,2,4-triazole-5-ones. *South-Siberian Scientific Bulletin*, (4), 117-120. (In Russ.).
20. Kofman, T.P., Zhukova, L.N. & Pevzner, M.S. (1981). 3-Nitro-1,2,4-triazol-5-one derivatives. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, (4), 406-412. <https://doi.org/10.1007/bf00503348>.
21. Kofman, T.P., Vasil'eva, I.V. & Pevzner, M.S. (1977).  $\alpha$ -Oxides in reaction with N-H acids of the heterocyclic series. IV. Alkylation of 1-methyl-3-nitro-1,2,4-triazol-5-one with olefin oxides. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, (13), 1129-1132. <https://doi.org/10.1007/BF00480153>.
22. Kofman, T.P. (2010). Development of the chemistry of 3-nitro-5-R-1,2,4-triazoles at the Institute of Technology. Part 1. (Review). (2010). *Izvestiya St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*, (7), 42-48.
23. Brel, A.K., Lisina, S.Vi., Vasilkova E.A., Litinsky, A.O. & Kamnev, V.V. (2012). Synthesis, kinetics and mechanism of the alkylation reaction of potassium salicylate with allyl bromide. *Butler reports*, (5), 60-63.
24. Gein, V.L., Pastukhova, E.V., Korol, A.N., Dozmorova, N.V. & Voronina, E.V. (2020). Synthesis and Some Transformations of 5-Aryl-4-(4-halogenaroyl)-3-hydroxy-1-cyanomethyl-3-pyrrolin-2-ones. *Russian Journal of General Chemistry*, (90) 2225-2229. <https://doi.org/10.1134/S1070363220120026>.
25. Andreani, A., Rambaldi, M., Bonazzi, D., Fabbrì, G., Greci, L., Galatulas, I. & Bossa, R. (1983). Potential Antitumor Agents, VIII<sup>1)</sup> Allyl, Propargyl and Cyanomethyl Esters of Imidazo[2,1-b]thiazole-5-carboxylic Acids. *Archiv Der Pharmazie*, (316), 141-146. <https://doi.org/10.1002/ardp.19833160210>.

#### Information about the authors

K.K. Bosov - Cand. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist at the Laboratory for Chemistry and Technology of High-Energy Azoles, Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IP-CET SB RAS).

I.A. Krupnova - Junior Research Scientist at the Laboratory for Chemistry and Technology of High-Energy Azoles, IPCET SB RAS.

E.V. Pivovarova - Junior Research Scientist at the Laboratory for Chemistry and Technology of High-Energy Azoles, IPCET SB RAS.

G.T. Sukhanov - Dr. (Chem.), Assoc. Prof., Chief Research Scientist at the Laboratory for Chemistry and Technology of High-Energy Azoles, IPCET SB RAS.

A.G. Sukhanova - Cand. Sci. (Chem.), Head of the Laboratory for Chemistry and Technology of High-Energy Azoles, IPCET SB RAS.

Y.V. Filippova - Cand. Sci. (Chem.), Senior Research Scientist at Laboratory for Chemistry and Technology of High-Energy Azoles, IPCET SB RAS.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 15 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.





Научная статья  
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)  
УДК 546.72/73/74

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.029

EDN: PWIETQ

## СИНТЕЗ СУЛЬФИДОВ ЭЛЕМЕНТОВ ТРИАДЫ ЖЕЛЕЗА В Н-АЛКАНАХ

Елена Павловна Харнутова <sup>1</sup>, Лина Викторовна Затонская <sup>2</sup>,  
Владимир Петрович Смагин <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

<sup>1</sup> harnutova@chem.asu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-8820-4688>

<sup>2</sup> zatonskayalv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2842-2710>

<sup>3</sup> smaginV@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4782-6355>

**Аннотация.** Сульфиды металлов имеют широкую область применения: от огнеупоров и твердых смазок до полупроводников и детекторов в радиотехнике. В работе представлен критический анализ способов получения сульфидов металлов. При проведении синтеза из простых веществ реакционные смеси нагревают до температур больше 1000 °С. Продукты синтеза гомогенизируют в среде инертного газа. При проведении самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), обладающего рядом весомых преимуществ, необходима особая подготовка исходных веществ и многократное измельчение образующегося спека, получаемые продукты во многих случаях многофазны, поверхность частиц образующихся сульфидов металлов покрыта слоем оксисульфидов. Синтез в реакторе с прокачкой газообразного сероводорода является экологически не безопасным. Среди рассмотренных отмечен синтез сульфидов металлов из неводных растворов. Показаны преимущества и обозначены его проблемы. Заключение подтверждено примерами неводного синтеза сульфидов элементов триады железа. В качестве реакционной среды при проведении синтеза использованы предельные углеводороды. Сероводород, образовавшийся при взаимодействии элементной серы с углеводородом, реагировал с гидроксидами или ацетатами железа, кобальта или никеля, находящимися в растворенном виде в реакционной среде. Реакция проходила при температуре кипения углеводорода (н-ундекана, н-додекана) в течение восьми часов. В результате получены кристаллические сульфиды двухвалентных железа, кобальта и никеля. При проведении синтеза не требуется сложное оборудование. Сероводород, необходимый для реакции, образуется непосредственно в реакторе, его концентрация не превышает 0,8 мг/м<sup>3</sup>. Энергоемкость синтеза не велика, однако надо отметить достаточно высокую температуру, равную температуре кипения углеводорода. Полученные сульфиды идентифицированы методами рентгенофазового и химического анализа.

**Ключевые слова:** гидроксиды железа, кобальта и никеля, ацетаты железа, кобальта и никеля, сульфид железа, сульфид кобальта, сульфид никеля, сера, н-алканы.

**Для цитирования:** Харнутова Е. П., Затонская Л. В., Смагин В. П. Синтез сульфидов элементов триады железа в н-алканах // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 196–201. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.029, EDN: <https://elibrary.ru/PWIETQ>.

Original article

## SYNTHESIS OF SULFIDES OF IRON TRIAD ELEMENTS IN N-ALKANES

Elena P. Kharnutova <sup>1</sup>, Lina V. Zatonskaya <sup>2</sup>, Vladimir P. Smagin <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Altai State University, Barnaul, Russia

<sup>1</sup> harnutova@chem.asu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-8820-4688>

<sup>2</sup> zatonskayalv@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2842-2710>

<sup>3</sup> smaginV@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4782-6355>

**Abstract.** Metal sulfides have a wide range of applications: from refractories and solid lubricants to semiconductors and detectors in radio engineering. The paper presents a critical analysis of methods for producing metal sulfides. During the synthesis of simple substances, the reaction mixtures are heated to temperatures above

© Харнутова Е. П., Затонская Л. В., Смагин В. П., 2024

1000 °C. The synthesis products are homogenized in an inert gas environment. When conducting out self-propagating high-temperature synthesis (SHS), which has a number of significant advantages, special preparation of the starting materials and repeated grinding of the resulting sinter; the resulting products are in many cases multi-phase, the surface of the particles of the metal sulfides formed is covered with a layer of oxysulfides. Synthesis in solution with pumping hydrogen sulfide gas is environmentally unsafe. Among those considered, the synthesis of metal sulfides from non-aqueous solutions was noted. The advantages are shown and its problems are outlined. The conclusions are confirmed by examples of non-aqueous synthesis of sulfides of iron triad elements. Only hydrocarbons were used as an alternative medium for co-synthesis. Hydrogen sulfide, formed by the interaction of elemental sulfur with hydrocarbons, reacted with hydroxides or acetates of iron, cobalt or nickel, which were dissolved in the reaction medium. The synthesis was carried out at the boiling point of liquid saturated hydrocarbon (*n*-undecane, *n*-dodecane) for eight hours. As a result, crystalline sulfides of ferrous iron, cobalt and nickel were obtained. When carrying out the synthesis, complex equipment is not required. The hydrogen sulfide required for the reaction is formed directly in the reactor, its concentration does not exceed 0.8 mg/m<sup>3</sup>. The energy intensity of the synthesis is not great, however, it should be noted that the temperature is high enough, equal to the boiling point of the hydrocarbon. The resulting sulfides were identified methods of X-ray phase and chemical analysis.

**Keywords:** hydroxides of iron, cobalt and nickel, acetates of iron, cobalt and nickel, iron sulfide, cobalt sulfide, nickel sulfide, sulfur, *n*-alkanes.

**For citation:** Kharnutova, E.P., Zatonskaya, L.V. & Smagin, V.P. (2024). Synthesis of sulfides of iron triad elements in *n*-alkanes. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 196-201. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.029, EDN: <https://elibrary.ru/PWIETQ>.

## ВВЕДЕНИЕ

Сульфиды металлов имеют широкую область применения: от огнеупоров и твердых смазок до полупроводников и детекторов в радиотехнике. Сульфид железа находит применение в металлургии, медицине и химической промышленности. Обладая восстановительными свойствами, сульфид железа необходим для обработки органики в качестве катализатора, для получения сероводорода. В качестве восстановителя он используется и в металлургической промышленности при изготовлении безуглеродистых, легированных и нержавеющей сталей. В медицине сульфид железа является компонентом лечебных грязей. Сульфид кобальта применяется в органическом синтезе в качестве катализатора для гидрирования под давлением органических соединений. Сульфид никеля – в качестве катализатора при гидрогенизации и дегидрогенизации.

Сульфиды триады железа относятся к группе сульфидов переходных металлов с достраивающейся *d*-оболочкой. Переходные металлы с достраивающейся *d*-оболочкой образуют сульфиды составов M<sub>2</sub>S, MS, M<sub>3</sub>S<sub>4</sub>, M<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, MS<sub>2</sub>, MS<sub>3</sub> (где M – металл), многие из которых обладают областями гомогенности, т.е. являются соединениями переменного состава [1]. По мере увеличения содержания серы усложняется кристаллическая структура сульфидов. При небольших отношениях S/M связь между атомами серы и металла имеет смешанный ионно-металлический характер и осуществляется в основном коллективизированными электронами. С увеличением отношения S/M появляется и возрастает ковалентная связь между атомами серы. Причем, чем больше локализация валентных электронов атома переходного металла и меньше доля валентных электронов, переходящих в нелокализованное состояние, чем меньше донорная способность металла, тем в

большей степени возрастает ковалентная связь. Связь между атомами металла и серы ослабевает, обособливаются структурные элементы из атомов металлов от структурных элементов из атомов серы. Вследствие этого происходит переход от металлической проводимости при малых отношениях S/M к полупроводниковой при больших отношениях S/M. При этом понижается температура плавления сульфидов и их твердость по мере роста обособления электронных конфигураций атомов металла и серы и уменьшения донорной способности переходного металла [2]. Так, температуры плавления у сульфидов железа (II), кобальта (II) и никеля (II) равны соответственно 1193 °C, 1100 °C и 797 °C [3].

Сульфиды элементов триады железа можно получить различными способами, которые имеют как преимущества, так и недостатки. При проведении синтеза из простых веществ реакционную смесь необходимо нагревать до высоких температур (>700 °C), а также длительное время гомогенизировать полученные продукты в среде инертного газа [4].

Сульфид железа получают в кварцевой трубке, разогретой до (800–1000) °C из сульфата железа (II) при токе инертного газа с парами серы [5]. В работе [6] взаимодействие железа с серой для получения моносulfида проводят в высокочастотном поле при температуре образования жидкой сульфидной фазы (1200 °C).

Преимуществами самораспространяющегося высокотемпературного синтеза являются отсутствие необходимости внешнего постоянного нагрева реагентов, высокая скорость реакции, кристалличность образующихся сульфидов, а также экологичность синтеза, объясняющаяся неприменением токсичных веществ. Помимо сульфидов, используя данный метод, можно получать оксисульфиды заданного состава [7].

Одним из недостатков высокотемпературно-

го способа является еще и необходимость измельчения спека на куски. Существует способ получения сульфида кобальта термическим путем из порошкообразных кобальта и серы при (250–350) °С в течение нескольких часов и последующем обжиге при 400 °С [8].

Известен способ осаждения кобальта и никеля из сульфатных растворов в виде сульфидов [9]. Способ включает введение серосодержащего реагента в раствор и нагрев при температуре (130–170) °С. При другом способе осаждение сульфида кобальта из продуктивных растворов сернокислотного выщелачивания при атмосферном давлении включает варьирование рН и добавление сульфидсодержащего компонента [10]. При синтезе в водной среде могут образовываться нестехиометрические сульфиды, содержащие избыточную серу, удаление которой не дает удовлетворительных результатов. Кроме этого, в большинстве случаев осаждаемые из водных растворов образцы сульфидов очень плохо фильтруются, часто проходят сквозь фильтры, образуют коллоидные растворы, не избежать и большой энергозатратности, необходимости использования специального дорогостоящего оборудования.

Методы синтеза с использованием газообразного сероводорода требуют сложного аппаратного оформления для улавливания и обезвреживания токсичных отходов. Так, в работе [11] сульфид никеля получали осаждением сероводородом в сложной установке с продувкой азотом. Известен способ осаждения сульфидов никеля и кобальта с предварительным окислением железа до трехвалентной формы и его осаждением. При этом осаждение проводится сульфидом натрия или сероводородом при повышенном давлении и температуре [12]. Применение в качестве основных реагентов в описанных способах получения сульфидов металлов газообразного сероводорода, ПДК H<sub>2</sub>S в рабочей зоне составляет 10 мг/м<sup>3</sup>, или сульфида натрия указывает на их неэкологичность.

Существуют способы получения с использованием органических растворителей. Так, в работе [13] получают сульфид кобальта в обратных эмульсиях, содержащих додецилсуль-

фат натрия, бутанол, воду и гептан в определенном диапазоне рН.

Таким образом, критический анализ методов получения сульфидов элементов триады железа подчеркивает актуальность данного направления исследований, связанного с разработкой новых экологически безопасных способов синтеза.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе представлены результаты синтеза сульфидов железа, кобальта и никеля в среде предельных углеводородов. Методика их получения приведена в работе [14]. Метод основан на совмещении в одном реакторе процессов получения сероводорода с синтезом сульфидов металлов. Необходимое количество сероводорода методом возникающих реагентов образуется при реакции элементной серы с n-алканами, являющимися одновременно реакционной средой.

Концентрация сероводорода в реакторе определена фотометрическим методом (МУК 4.1.2470-09) [15]. Она меньше 0,8 мг/м<sup>3</sup> [16]. Металлы в реакционную смесь вводили в составе гидроксида или солей карбоновых кислот.

В работе [17] описан синтез сульфидов d-металлов VIII группы Периодической таблицы Д.И. Менделеева из гидроксидов и ацетатов металлов. В качестве среды использованы n-ундекан и n-додекан. Реакционная среда представляла собой гомогенную систему, так как сера и металлсодержащие реагенты достаточно хорошо растворяются в предельных углеводородах. Например, растворимость серы в гептане составляет 2,34 г/100 г, в декане она равна 2,84 г/100 г, в нонане 3,65 г/100 г растворителя при температурах кипения n-алканов [17]. Синтез проводили в течение 8 часов при температуре кипения соответствующего углеводорода. Исходные соединения металлов получали непосредственно перед синтезом по известным методикам [18]. Условия синтеза приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Условия синтеза и выход продукта при получении сульфидов железа, кобальта и никеля из гидроксидов металлов

Table 1 – Synthesis conditions and product yield for the preparation of iron, cobalt and nickel sulfides from metal hydroxides

Сульфид	Исходный реагент	n-алкан	Температура синтеза, °С	Выход сульфида, %
FeS	Fe(OH) <sub>2</sub>	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	195	72
		C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	216	85
CoS	Co(OH) <sub>2</sub>	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	195	76
		C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	216	86
NiS	Ni(OH) <sub>2</sub>	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	195	73
		C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	216	81

## СИНТЕЗ СУЛЬФИДОВ ЭЛЕМЕНТОВ ТРИАДЫ ЖЕЛЕЗА В Н-АЛКАНАХ

Таблица 2 – Условия синтеза и выход продукта при получении сульфидов железа, кобальта и никеля из ацетатов металлов

Table 2 – Synthesis conditions and product yield for the preparation of iron, cobalt and nickel sulfides from metal acetates

Сульфид	Исходный реагент	н-алкан	Температура синтеза, °С	Выход сульфида, %
FeS	Fe(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	195	74
		C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	216	86
CoS	Co(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	195	77
		C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	216	84
NiS	Ni(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	195	75
		C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	216	86

Использование растворимых исходных соединений позволяет избежать загрязнения конечного продукта. Сульфиды легко отделяются от реакционной смеси, т.к. не растворяются в углеводородах.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Индивидуальность полученных сульфидов подтверждена методами рентгенофазового (РФА) и химического анализа. Рентгенофазовый анализ проведен на установке ДРОН-3 на излучении CuK<sub>α1</sub>. Сравнение рентгенограмм с данными картотеки JCPDS показало, что получены кристаллические модификации FeS, CoS и NiS. Продукты синтеза не содержат примесей исходных веществ. На рисунке 1 в качестве примера приведены штрих-рентгенограммы сульфида никеля. Сульфиды железа (II), кобальта (II) и никеля (II) представляют собой черные порошки гексагональной сингонии, структурный тип арсенида никеля, пространственная группа R3m. Сера, железо,

кобальт и никель определяли гравиметрическим методом в соответствии с методикой [19]. Результаты указывают на стехиометрический состав продуктов (табл. 3 и 4).

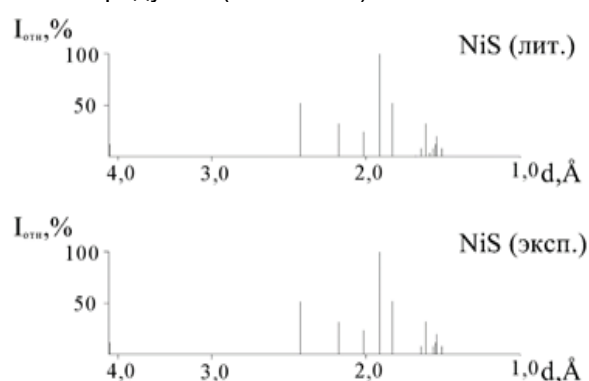


Рисунок 1 – Штрих-рентгенограммы сульфида никеля

Figure 1 – Line X-ray diffraction patterns of nickel sulfide

Таблица 3 – Содержание металла и серы в продуктах синтеза (исходные вещества – гидроксиды металлов)

Table 3 – Metal and sulfur content in synthesis products (starting materials – metal hydroxides)

Исходное вещество	Содержание элементов/ массовая доля, %		Молярное отношение металл : сера	Условия синтеза
	Металл	Сера		
Сульфид железа (II)				
Гидроксид железа (II)	63,66 ± 0,05	36,87 ± 0,07	1,00 : 1,01	н-додекан, 216 °С, 8 ч
Гидроксид железа (II)	63,59 ± 0,06	37,24 ± 0,08	1,00 : 1,02	н-ундекан, 195 °С, 8 ч
Сульфид кобальта (II)				
Гидроксид кобальта (II)	64,84 ± 0,05	35,28 ± 0,06	1,00 : 1,00	н-додекан, 216 °С, 8 ч
Гидроксид кобальта (II)	65,02 ± 0,06	34,98 ± 0,08	1,00 : 0,99	н-ундекан, 195 °С, 8 ч
Сульфид никеля (II)				
Гидроксид никеля (II)	64,74 ± 0,07	34,98 ± 0,07	1,00 : 0,99	н-додекан, 216 °С, 8 ч
Гидроксид никеля (II)	64,69 ± 0,08	35,34 ± 0,07	1,00 : 1,00	н-ундекан, 195 °С, 8 ч

## СИНТЕЗ СУЛЬФИДОВ ЭЛЕМЕНТОВ ТРИАДЫ ЖЕЛЕЗА В Н-АЛКАНАХ

Таблица 4 – Содержание металла и серы в продуктах синтеза (исходные вещества – ацетаты металлов)

Table 4 – Metal and sulfur content in synthesis products (starting materials – metal acetates)

Исходное вещество	Содержание элементов/ массовая доля, %		Молярное от- ношение ме- талл : сера	Условия синтеза
	Металл	Сера		
Сульфид железа (II)				
Ацетат железа (II)	64,03 ± 0,06	35,99 ± 0,07	1,00 : 0,98	н-додекан, 216 °С, 8 ч
Ацетат железа (II)	63,98 ± 0,07	36,04 ± 0,08	1,00 : 0,98	н-ундекан, 195 °С, 8 ч
Сульфид кобальта (II)				
Ацетат кобальта (II)	65,13 ± 0,05	34,89 ± 0,06	1,00 : 0,98	н-додекан, 216 °С, 8 ч
Ацетат кобальта (II)	65,08 ± 0,08	34,92 ± 0,08	1,00 : 0,99	н-ундекан, 195 °С, 8 ч
Сульфид никеля (II)				
Ацетат никеля (II)	64,97 ± 0,08	35,05 ± 0,05	1,00 : 0,99	н-додекан, 216 °С, 8 ч
Ацетат никеля (II)	64,99 ± 0,08	35,03 ± 0,07	1,00 : 0,98	н-ундекан, 195 °С, 8 ч

### ВЫВОДЫ

Данное исследование показало возможность получения порошков сульфидов железа, кобальта и никеля методом возникающих реагентов в среде н-алканов с применением в качестве исходных металлсодержащих соединений гидроксидов и ацетатов металлов. При применении ацетатов металлов выход соответствующих сульфидов больше. Его увеличение объясняется большей растворимостью в углеводородах солей по сравнению с растворимостью гидроксидов. Образующийся в реакторе сероводород не выделяется в окружающую среду, а связывается с ионами металлов, образуя малорастворимые сульфиды. Это подчеркивает экологичность метода.

Сера и используемые соединения металлов растворяются в н-ундекане и н-додекане, получаемые сульфиды – нет, следовательно, упрощается отделение сульфидов металлов в виде индивидуальных веществ. При проведении синтеза не требуется сложное оборудование. Реакции протекают при меньших температурах при непродолжительном времени. Это позволяет получать продукты высокого качества при сравнительно низких энергозатратах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самсонов Г.В., Дроздова С.В. Сульфиды. М.: Металлургия, 1972. 304 с.
2. Фистуль В.И. Физика и химия твердого тела. М.: Металлургия, 1995. 480 с.
3. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. Л.: Химия, 1991. 432 с.
4. Способ получения сульфида железа (II): авт. свид. 1204571 СССР № 3605675; заявл. 10.06.1983; опубл. 15.01.1986, Бюл. № 2. 6 с.
5. Способ получения сульфида железа: авт. свид. 1439083 СССР № 4040744; заявл. 28.01.1986; опубл. 23.11.1988, Бюл. № 43. 4 с.
6. Способ получения сульфидов металлов: авт. свид. 1089050 СССР № 3474238; заявл. 19.07.1982; опубл. 30.04.1984, Бюл. № 16. 4 с.
7. Энергосберегающий синтез и характеристика сульфидов хрома, никеля и кадмия / Д.М. Чухлеб [и др.] //

Известия Алтайского государственного университета. 2013. № 3(79), Т.1. С. 183–188.

8. Способ получения сульфида кобальта  $\text{Co}_3\text{S}_4$ : авт. свид. 1819860 СССР № 4901058; заявл. 09.01.1991; опубл. 07.06.1993, Бюл. № 21. 4 с.

9. Способ осаждения никеля, кобальта и меди селективно от цинка из сульфатных растворов в виде сульфидов: пат. 2328573 Рос. Федерация № 2006115017/02; заявл. 02.05.2006; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 19. 8 с.

10. Способ осаждения сульфидного концентрата никеля и кобальта из сернокислотных растворов: пат. 2281978 Рос. Федерация № 2005108398/02; заявл. 24.03.2005; опубл. 20.08.2006, Бюл. № 23. 5 с.

11. Mechanism and kinetics of the oxidation of synthetic  $\alpha\text{-NiS}$  / N. Štrbac [et al.] // J. Serb. Chem. Soc. 2008. V. 73(2). P. 211–219. doi: 10.2298/JSC0802211S.

12. Separating nickel, cobalt and chromium from iron in metallurgical products: Patent 4042474 United States Appl. № 590478; filed 26.06.1975; published 16.08.1977. 12 p.

13. Теслюк Д.А., Васёха М.В., Селькина Ю.А. Физико-химические основы синтеза сульфида кобальта (II) в обратной микроэмульсии // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 1. С. 156–163.

14. Способ получения сульфида металла: пат. 2112743 Рос. Федерация № 96123373/25; заявл. 10.12.1996; опубл. 10.06.1998, Бюл. № 16. 8 с.

15. МУК 4.1.2470-09. Измерение массовых концентраций дигидросульфида (сероводорода) в воздухе рабочей зоны по реакции с молибдатом аммония методом фотометрии: Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 16 с.

16. Ирхина (Харнудова) Е.П. Экологически безопасные методы получения сульфидов металлов в среде жидких алканов: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Барнаул, 2000. 23 с.

17. Перов Э.И., Ирхина (Харнудова) Е.П. Растворимость и состояние элементарной серы в предельных углеводородах ряда  $\text{C}_6\text{--C}_{10}$  // Журнал прикладной химии. 1999. Вып. 1. С. 48–51.

18. Руководство по неорганическому синтезу. Том 2 / под ред. Г.М. Брауэр. М.: Мир, 1985. 338 с.

19. Шарло К. Методы аналитической химии, количественный анализ. Анализ неорганических соединений. Т.1. М.: Химия, 1974. 480 с.

### Информация об авторах

*Е. П. Харнудова – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, институт химии и хи-*

мико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

Л. В. Затонская – кандидат химических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

В. П. Смагин – доктор химических наук, профессор, профессор кафедры техносферной безопасности и аналитической химии, институт химии и химико-фармацевтических технологий, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет».

## REFERENCES

1. Samsonov, G.V. & Drozdova, S.V. (1972). Sulfides. Moscow: Metallurgy. (In Russ.).
2. Fistul, V.I. Physics and chemistry of solids. (1995). Moscow: Metallurgy. (In Russ.).
3. Rabinovich, V.A. & Khavin, Z.Ya. (1991). Brief chemical reference book. L.: Chemistry. (In Russ.).
4. Zheplinskij, B.M., Vovk, M.I., Mikhajlenko, N.M., Brolinskiy, G.I., Datsko, R.P., Terentev, N.K., Ardova, T.M. & Sidorenko, V.A. (1986). Method of producing (II) ferrous sulfide. *Author's certificate 1204571. Soviet Union, published on 15.01.1086.* Bull. №. 2. (In Russ.).
5. Zapolskij, A.K., Kij, N.N. & Deshko, I.I. (1988). Method of producing iron sulfide(II). *Author's certificate 1439083. Soviet Union, published on 23.11.1988.* Bull. №. 43. (In Russ.).
6. Tsybin, O.I., Shekhter, L.N., Kuvinov, V.E., Bryukvin, V.A., Roslova, A.A., Blokhina, L.I. & Bolshikh, M.A. (1984). Method for preparing metal sulfides. *Author's certificate 1089050. Soviet Union, published on 30.04.1984.* Bull. №. 16. (In Russ.).
7. Chukhleba, D.M., Bogdankova, L.A., Smagin, V.P. & Novozhenov, V.A. (2013). Energy-saving synthesis and characterization of sulfides of chromium, nickel and cadmium. *Izvestiya of Altai State University*, 79(1), 183-188. (In Russ.).
8. Chunaeva, V.D., Muldagalieva, R.A. & Tsaruk, A.S. (1993). Method for production of cobalt sulfide  $\text{Co}_3\text{S}_4$ . *Author's certificate 1819860. Soviet Union, published on 07.06.1993.* Bull. №. 21. (In Russ.).
9. Kalashnikova, M.I., Volkov, L.V., Shneerson, J.M. & Chetvertakov, V.V. (2008). Method of sedimentation of nickel, cobalt, and copper selectively from zinc out of sulfate solutions in form of sulfides. *Pat. 2328573. Russian Federation, published on 10.07.2008.* Bull. №. 19. (In Russ.).
10. Orlov, S.L. & Baskov, D.B. (2006). Method of sedimentation of nickel and cobalt sulfide concentrate from sulfuric acid solutions. *Pat. 2281978. Russian Federation, published on 20.08.2006.* Bull. №. 23. (In Russ.).
11. Štrbac, N., Živković, D., Mihajlović, I., Boyanov, B. & Živković, Ž. (2008). Mechanism and kinetics of the oxidation of synthetic  $\alpha\text{-NiS}$  // *J. Serb. Chem. Soc.*, 73(2), 211-219. doi: 10.2298/JSC0802211S.
12. Heimo Unto August Saarinen. (1977). Separating nickel, cobalt and chromium from iron in metallurgical products. *Pat. 4042474 United States, published on 16.08.1977.*
13. Teslyuk, D.A., Vasyokha, M.V. & Sel'kina, Yu.A. (2015). Physical and chemical bases of synthesis of cobalt(II) sulfide in the reverse microemulsion. *Vestnik of MSTU*, 18(1), 156-163. (In Russ.).
14. Perov, E.I., Irkhina (Kharhutova), E.P., Il'ina, E.G., Goncharova, I.V., Fedorov, I.S. & Golovachev, A.N. (1998). Method of preparing metal sulfide. *Pat. 2112743. Russian Federation, published on 10.06.1998.* Bull. №. 16. (In Russ.).
15. Measurement of mass concentrations of dihydrosulfide (hydrogen sulfide) in the air of the working area by reaction with ammonium molybdate by photometry. (2009). MUK 4.1.2470 from 29 April 2009. Moscow: Federal Hygienic and Epidemiological Center of Rospotrebnadzor. (In Russ.).
16. Irkhina (Kharhutova), E.P. (2000). Environmentally friendly methods for producing metal sulfides in liquid alkanes. Extended abstract of candidate's thesis. Barnaul. (In Russ.).
17. Perov, E.I. & Irkhina (Kharhutova), E.P. (1999). Solubility and state of elemental sulfur in saturated  $\text{C}_6\text{-C}_{10}$  hydrocarbons. *Russian Journal of Applied Chemistry*, (1), 48-51. (In Russ.).
18. Brower, G.M. (1985). Guide to Inorganic Synthesis. Volume 2. Moscow: Mir. (In Russ.).
19. Charlot, K. (1974). Methods of analytical chemistry, quantitative analysis. Analysis of inorganic compounds. V.1. Moscow: Chemistry. (In Russ.).

## Information about the authors

E.P. Kharhutova - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

L.V. Zatonskaya - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

V.P. Smagin - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Institute of Chemistry and Chemical-Pharmaceutical Technologies, Altai State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 16 января 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 16 Jan 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.





Научная статья  
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)  
УДК 621

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.030

 EDN: YVGYAA

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВОЙ СМОЛЫ

Евгений Николаевич Еремин <sup>1</sup>, Ксения Геннадьевна Кукушина <sup>2</sup>,

<sup>1, 2</sup> Омский государственный технический университет, Омск, Россия

<sup>2</sup> Центральное конструкторское бюро автоматики, Омск, Россия

<sup>1</sup> Eremin.46@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7357-8194>

<sup>2</sup> KukushinaKG@ckba.net, <https://orcid.org/0000-0001-9959-5670>

**Аннотация.** В данной работе исследуется влияние размера частиц наполнителя на характеристики композиционного материала на основе эпоксидно-диановой смолы. Оценены свойства высоконаполненных композитов с различными размерами частиц. Методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) изучены морфологические особенности наполнителей различных размеров.

Также представлены результаты исследований физико-механических и технологических свойств композиционных материалов.

Приведено описание технологических этапов производства композиционных материалов на эпоксидной основе, наполненных титанатом бария.

Установлено, что при приготовлении одномодальных композиций для применения в СВЧ-индустрии предпочтительнее использование более крупных фракций наполнителя, чем применение мелкодисперсных частиц.

**Ключевые слова:** эпоксидно-диановая смола, титанат бария, диэлектрические свойства, композит, размер частиц.

**Благодарности:** Авторы благодарят за содействие в выполнении данной работы руководство и специалистов – отдела главного технолога и отдела антенн и СВЧ – устройств АО «ЦКБА».

**Для цитирования:** Еремин Е. Н., Кукушина К. Г. Исследование влияния размера частиц наполнителя на свойства композиционного материала на основе эпоксидно-диановой смолы // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 202–207. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.030, EDN: <https://elibrary.ru/YVGYAA>.

Original article

## STUDY OF INFLUENCE OF FILLER PARTICLE SIZE ON THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL BASED ON EPOXY-DIANE RESIN

Evgeniy N. Eremin <sup>1</sup>, Ksenia G. Kukushina <sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Omsk State Technical University, Omsk, Russia

<sup>2</sup> Central Design Bureau of Automatics, Omsk, Russia

<sup>1</sup> Eremin.46@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7357-8194>

<sup>2</sup> KukushinaKG@ckba.net, <https://orcid.org/0000-0001-9959-5670>

**Abstract.** In this paper, the influence of filler particle size on the characteristics of the composite material is investigated. The properties of highly filled composites with different particle sizes are evaluated. The morphological features of fillers of various sizes have been studied by scanning electron microscopy (SEM).

© Еремин Е. Н., Кукушина К. Г., 2024

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВОЙ СМОЛЫ

*The results of studies of the physical, mechanical and technological properties of composite materials are also presented.*

*The description of the technological stages of production of epoxy-based composite materials filled with barium titanate is given.*

*It has been established that when preparing single-modal compositions for use in the microwave industry, it is preferable to use larger fractions of the filler than fine particles.*

**Keywords:** epoxy-diane resin, barium titanate, dielectric properties, composite, particle size.

**Acknowledgements:** The authors are grateful to the management and staff department of the main technologist and an antenna department and microwave devices.

**For citation:** Eremin, E.N., Kukushina, K.G. (2024). Study of the influence of filler particle size on the properties of composite material based on epoxy-diane resin. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 202-207. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.030, EDN: <https://elibrary.ru/YVGYAA>.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается значительный прогресс в СВЧ-индустрии, в технологиях которой востребованы диэлектрики. Данные материалы широко используются в различных видах высокочастотной электроники, включая спутниковую и мобильную связь, анализ окружающей среды, телевидение и интернет и т.д. [1–3].

Актуальные исследования в данных областях требуют новых подходов, направленных на улучшение технологических, физико-механических и специальных характеристик композитов, миниатюризацию СВЧ-устройств и повышение эксплуатационных показателей.

Материалы, применяемые в устройствах, работающих в диапазоне сверхвысоких частот, должны обладать высоким показателем диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ), твердостью, устойчивостью к водопоглощению, низкими значениями диэлектрических потерь и высоким ресурсом эксплуатации, а также возможностью обработки для обеспечения точности размеров при сравнительно низкой стоимости [4, 5].

В последние годы становятся востребованными полимерные материалы, что обусловлено их доступностью и технологичностью. Особое внимание уделяется полимерам с наполнителями, обладающими высокой диэлектрической проницаемостью [6–9]. Полимерные композиты позволяют сочетать технологические свойства полимерной основы с электрическими характеристиками, твердостью и устойчивостью к воздействию влаги наполнителя, что делает их перспективными для производства функциональных и корпусных элементов СВЧ-устройств.

При разработке новых функциональных материалов учитывается множество факторов: характеристики исходных компонентов, их соотношение, размер частиц наполнителя и другие параметры.

В последние годы в России и ряде дру-

гих стран активно исследуют влияние размеров частиц наполнителей на уникальные свойства композиционных материалов.

Например, в исследовании [10] авторы изучили композиты на основе ПТФЭ с наполнителями из  $Al_2O_3$  (3 мкм) и  $MgO$  (2 мкм).

Для повышения диэлектрической проницаемости таких композитов они рекомендовали использовать наполнители с более мелкими частицами и высокими диэлектрическими свойствами.

Авторы работы [11] предложили практические советы для предотвращения пробоя диэлектрических материалов, что означает сохранение электроизоляционных свойств полимера. В частности, они рекомендуют использовать мелкие частицы наполнителей и стремиться в процессе синтеза композита к их равномерному распределению в материале. Это позволяет избежать возникновения дефектов в виде пор, микротрещин, а также снижает вероятность появления зон внутреннего напряжения в материале.

Исследователи в работе [12], изучая полимерные композиты, установили, что такая характеристика, как проницаемость, зависит от размера частиц наполнителя. Было показано, что с увеличением размера частиц диэлектрическая проницаемость также возрастает, что может быть связано с наличием поверхностного дефектного слоя, отличающегося по свойствам от основной части частиц наполнителя.

Изложенное указывает на то, что на специальные свойства композитов влияют не только состав материала, но и размер частиц наполнителя.

В связи с описанным выше, целью настоящей работы является исследование влияния размера частиц наполнителя на эксплуатационные свойства эпоксидно-диановых материалов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были заливочные композиции на основе эпоксидно-диановой

смолы марки ЭД-20 с содержанием функциональных групп 21 %, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 10587-84.

При приготовлении композитов отвердителем являлся полиэтиленполиамин марки А (ПЭПА), производимый в соответствии с ТУ 2413-357-00203447-99.

В качестве наполнителя использовался титанат бария  $BaTiO_3$  марки ТБК-1, поставляемый в соответствии с ТУ 20.59.59-057-48591565-2018. Данный наполнитель применяется для создания композитов с повышенными диэлектрическими свойствами.

Исследуемые композиты представляли собой заливочные эпоксидные композиции. Приготовление композиции состояло из следующих технологических операций: подготовки наполнителей; подготовки жидкой смолы, смешивания, прогрева заливочной смеси, введения аминного отвердителя [1].

Полученные композиционные материалы, наполненные титанатом бария, обозначены ЭД-БТ.

Для исследования свойств разрабатываемых композиционных материалов изготавливали образцы размером  $23 \times 10 \times 10$  мм методом заливки в форму. Данная технология обеспечивает получение изделий без приложения внешнего давления из жидких композиций прямо в форме для заливки. Первым этапом подготавливали форму: проводили обезжиривание смесью спирта и нефраса, а затем наносили антиадгезионную смазку. После этого композицию заливали в оформляющую полость. Полученные составы были однородными, хорошо текучими и сохраняли свои свойства в течение необходимого времени. Полимеризацию диэлектрических композитов проводили при температуре  $(25 \pm 5)^\circ C$  в течение 24 часов

Морфология наполнителей исследована с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) JEOL JCM-5700 (Япония).

Специальные характеристики образцов ЭД-БТ измеряли в X-диапазоне СВЧ на частоте 10 ГГц. Для измерений использовали образцы размерами  $23 \text{ мм} \times 10 \text{ мм}$  и высотой от 3,7 до 4,8 мм.

Для сравнения результатов измерений диэлектрической проницаемости композитов использовались теоретически расчетные данные, полученные по формуле Лихтенеккера [3]. Наилучший состав композиционного материала выбирался с учетом максимального значения диэлектрической проницаемости.

Измерения полимеризационной усадки образцов проводились по национальному стандарту (ГОСТ 34206-2017).

Показатель водопоглощения определялся в соответствии с ГОСТ 4650-2014 (ISO 62:2008), а твердость образцов проверялась с помощью твердомера ТН 210 на испытательном стенде по ГОСТ 24621-2015.

Также был проведен анализ жизнеспособ-

ности композитов в соответствии с ОСТ 4Г 0.054.210-83.

Для статистической обработки экспериментальных данных использовалась программа «STATIC-2» [13].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В современном производстве для устройств, работающих в широкой полосе частот, применяются полимерные материалы с диэлектрической проницаемостью около 4,4. Однако для некоторых устройств требуется более высокая диэлектрическая проницаемость материалов.

Ранее в исследовательской работе было установлено, что 70 % масс. наполнителя является максимальным наполнением для получения композитов конструкционного назначения [14]. Поэтому в данном исследовании наполнение всех образцов составило 70 % масс.

В рамках исследования были выполнены эксперименты с композитами, имеющими различную дисперсность наполнителя.

Титанат бария подвергали механическому измельчению в лабораторной мельнице, получая фракции с размерами частиц 0,7–0,9 мкм и 0,1–0,3 мкм.

Крупнозернистая фракция (фракция а) состояла из частиц размером 1–5 мкм, среднезернистая (фракция b) – из частиц 0,7–0,9 мкм, а мелкозернистая (фракция с) – из частиц 0,1–0,3 мкм.

Изображения фракций наполнителя после помола в лабораторной мельнице, полученные на сканирующем электронном микроскопе (SEM), представлены на рисунках 1 и 2.

SEM-изображения фракций показали, что частицы фракции с примерно в 3–5 раз меньше частиц фракции b.

Далее были созданы три состава композитов на основе порошков фракций а, b и с с содержанием наполнителя 70 % массы.

Стоит отметить, что при исследовании свойств композиционных материалов были проведены и повторные опыты (для пяти образцов каждого состава), и повторные измерения каждого образца (три измерения). Таким образом, все представленные значения свойств исследуемых композитов были получены в соответствии с общепринятыми принципами планирования и статистической обработки эксперимента.

Композит с крупнозернистой фракцией а представлял собой однородную массу с хорошей текучестью и жизнеспособностью. Эпоксидно-диановая основа обеспечивала равно-

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВОЙ СМОЛЫ

мерное распределение частиц, что обуславливало стабилизацию свойств материала.

Среднезернистый композит с фракцией

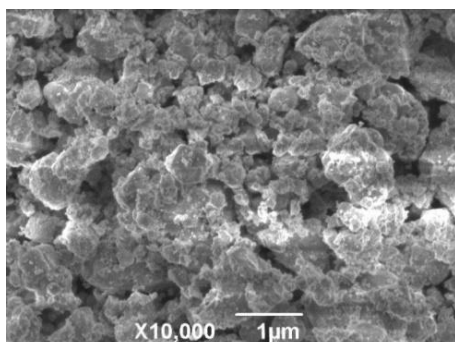


Рисунок 1 – SEM морфология наполнителя фракции b

Figure 1 – SEM morphology of filler fraction b

b также был однородным, достаточно текучим и жизнеспособным.

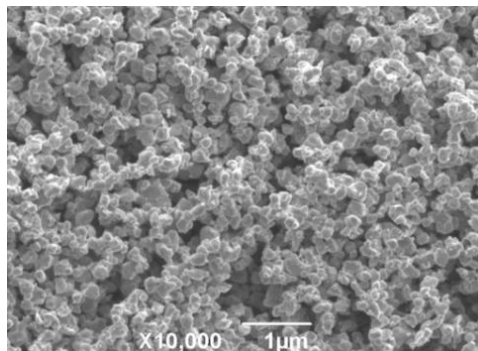


Рисунок 2 – SEM морфология наполнителя фракции c

Figure 2 – SEM morphology of filler fraction c

Однако композит с мелкозернистой фракцией с обладал низкими текучестью и жизнеспособностью, что свидетельствовало о его низкой технологичности. Это, возможно, связано с образованием агломератов из мелких частиц, препятствующих их равномерному распределению. Соответственно, на стадии приго-

товления композиции сделан вывод о невозможности использования данного состава в технологических процессах на производстве.

Расчетные и измеренные диэлектрические свойства композиционных материалов представлены в таблице 1[1].

Таблица 1 – Диэлектрические проницаемости композиционных материалов ЭД-БТ разных фракций [1]

Table 1 – Dielectric constants of composite materials ED-BT of different factions [1]

№ п/п	Состав композиционного материала, % масс.	Диэлектрическая проницаемость расчетная, $\epsilon$	Диэлектрическая проницаемость измеренная, $\epsilon \pm 0,05$
1	ЭД-70БТ фракция а	14,60	11,30
2	ЭД-70БТ фракция b	14,60	10,50
3	ЭД-70БТ фракция c	14,60	9,80

Как показано в таблице 1, при уменьшении размеров частиц наполнителя от фракции а до фракции b диэлектрическая проницаемость композитов снижается на 7 %.

При использовании частиц наполнителя фракции с диэлектрическая проницаемость снижается на 13 %, что подтверждает недостаточную технологичность этого материала.

В результате исследования установлено, что для получения композитов с повышенными диэлектрическими свойствами предпочтительно использование более крупных частиц наполнителя, чем использование частиц мелкой фракции.

Далее были исследованы физико-механические и технологические свойства композитов, такие как твердость, плотность, водопоглощение, усадка и жизнеспособность.

Измеренные свойства материалов, наполненных фракциями разной дисперсности, представлены в таблице 2. Доверительная вероятность представленных значений свойств не ниже 0,95.

Анализ данных показывает, что при переходе от фракции, а к фракции с (уменьшение размера частиц) при одинаковом составе композита такие параметры, как твердость, плотность и водопоглощение, практически не изменяются. Данные характеристики остаются на прежнем уровне, что и до изменения размера частиц наполнителя.

Важно отметить, что показатель водопоглощения (адсорбция воды) для композиционных материалов, наполненных частицами разных размеров наполнителя, составляет 0,03 %. Соответственно, это позволяет считать данные составы композитов пригодными для эксплуатации в сложных условиях, так как они гидрофобны.

Для материалов конструкционного назначения также важна усадка, которая варьируется в широком диапазоне в зависимости от наполненности материала. Полимеризационная усадка образцов определена по стандарту, метод определения заключается в

измерении разности между размерами детали после формования и размерами полости формы.

Как видно из данных таблицы 2, полимеризационная усадка материалов мала и составляет 0,20 %, что позволяет обеспечить получение деталей стабильных размеров.

Жизнеспособность композиционных материалов (время, в течение которого заливочная композиция не теряет своих технологических свойств, оставаясь в вязко-текучем состоянии) с фракциями а и б составляет 30 минут, что делает их пригодными для метода заливки.

Однако для фракции с жизнеспособность составляет всего 10 минут, что делает такой материал нетехнологичным.

Таблица 2 – Физико-механические и технологические свойства композиционных материалов ЭД-БТ разных фракций [1]

Table 2 – Physico-mechanical and technological properties of composite materials ED-BT of different factions [1]

№ п/п	Состав композиционного материала, % масс	H±0,1 по Шору, HD	w±0,01, %	ρ ±0,01, г/ см <sup>3</sup>	T±1, мин	u±0,05, %
1	ЭД-70БТ фракция а	91,3	0,03	2,13	30	0,20
2	ЭД-70БТ фракция б	91,1	0,03	2,12	30	0,20
3	ЭД-70БТ фракция с	91,1	0,03	2,12	10	0,20

H – твердость; w – водопоглощение; u – усадка; T – жизнеспособность; ρ – плотность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кукушина К.Г. Структура и свойства композиционных диэлектрических материалов на основе эпоксидно-диановых смол, наполненных соединениями титана: дис. ... канд. тех. наук: 2.6.17. Омск, 2024. 162 с.

2. Sebastian M.T. Dielectric Materials for Wireless Communication. Elsevier, 2008. 688 p.

3. Sebastian M.T., Ubic R., Jantunen H. Microwave Materials and Applications. Wiley, 2017. Vol. 1–2. 982 p.

4. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. Научные основы и технологии / Ю.А. Михайлин. Санкт-Петербург : Научные основы и технологии, 2010. 820 с.

5. Рез И.С., Поплавко Ю.М. Диэлектрики. Основные свойства и применения в электронике. Москва : Радиоисвязь, 1989. 288 с. ISBN 5-256-00235-X.

6. Synthesis and microwave characterisation of (Zr<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>)TiO<sub>4</sub> – epoxy composite and its application in wideband stacked rectangular dielectric resonator antenna / R.K. Chaudhary [et. al.] // IET Microwaves, Antennas Propagation. 2012. Vol. 6, № 7. P. 740–746. DOI: 10.1049/iet-map.2011.0467.

7. Structure and optical properties of titania-PDMS hybrid nanocomposites prepared by in situ non-aqueous synthesis / A.R.M. Dalod [et al.] // Nanomaterials. 2017. Vol. 7, № 12. P. 460–465.

Полученные результаты были использованы в АО «Центральное конструкторское бюро автоматики» при разработке сверхширокополосной спиральной антенны [1].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследованы композиты на основе низкоплавкой эпоксидно-диановой смолы, наполненные титанатом бария.

Экспериментально установлено, что для однофазных композитов на основе эпоксидно-диановой смолы оптимальным является использование наполнителей более крупной фракции. Это позволяет повысить диэлектрические и технологические свойства материала, что важно для применения в СВЧ-индустрии.

8. Polymer ceramic composites for microwave substrate and antenna applications / S. George [et al.] // Indian Antenna Week: A Workshop on Advanced Antenna Technology. 2010. P. 1–4.

9. Spherical and flake-like BN filled epoxy composites: morphological effect on the thermal conductivity, thermo-mechanical and dielectric properties / L. Huang [et al.] // Journal of Materials Science: Materials Electronics. 2015. Vol. 26, № 6. P. 3564–3572.

10. Comparison of alumina and magnesia filled PTFE composites for microwave substrate applications / K.P. Murali [et al.] // Materials Chemistry and Physics. 2009. Vol. 113, № 1. P. 290–295.

11. Производство изделий из полимерных материалов : учеб. пособие / В.К. Крыжановский [и др.]. Санкт-Петербург : Профессия, 2008. 464 с. ISBN 978-5-93913-064-6.

12. Tchmyreva V.V., Ponomarenko A.T., Shevchenko V.G. Electrophysical Properties of Polymer Based Composites with Barium Titanate (BaTiO<sub>3</sub>) // Ferroelectrics. 2004. Vol. 307, № 1. P. 233–242. DOI: 10.1080/00150190490493276.

13. Вершинин В.И., Перцев Н.В. Планирование и математическая обработка результатов химического эксперимента. Омск: Изд-во ОмГУ, 2005. 216 с.

14. Свойства композиционных материалов, состоящих из эпоксидно-диановой смолы и титаната бария / Е.Н. Еремин [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 223–229.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВОЙ СМОЛЫ

## Информация об авторах

Е. Н. Еремин – доктор технических наук, декан Машиностроительного института, профессор Омского государственного технического университета, г. Омск, Российская Федерация.

К. Г. Кукушина – инженер-технолог I кат. сектора новых материалов и технологий Центрального конструкторского бюро автоматики, г. Омск, Российская Федерация.

## REFERENCES

1. Kukushina, K.G. (2024). *Structure and properties of composite dielectric materials based on epoxy-diane resins filled with titanium compounds*: dis. candidate of Technical Sciences: 2.6.17. Omsk. (In Russ.).
2. Sebastian, M.T. (2008). *Dielectric Materials for Wireless Communication*. Elsevier.
3. Sebastian, M.T., Ubic, R. & Jantunen, H. (2017). *Microwave Materials and Applications*. Wiley.
4. Mikhailin, Yu.A. (2010). *Structural polymer composite materials. Scientific foundations and technologies*. St. Petersburg: Scientific principles and technologies. (In Russ.).
5. Rez, I.S. & Poplavko, Yu.M. (1989). *Dielectrics. Basic properties and applications in electronics*. Moscow: Radio and Communications. ISBN 5-256-00235-X. (In Russ.).
6. Chaudhary, K., Baskey, H.B., Srivastava, K.V. & Biswas, A. (2012). Synthesis and microwave characterisation of  $(Zr_{0.8}Sn_{0.2})TiO_4$  - epoxy composite and its application in wideband stacked rectangular dielectric resonator antenna. *IET Microwaves, Antennas Propagation*, (6, no. 7). 740-746. DOI: 10.1049/iet-map.2011.0467.
7. Dalod, A.R.M., Grendal, O.G. & Blichfeld, A.B. (2017). Structure and optical properties of titania-PDMS hybrid nanocomposites prepared by in situ non-aqueous synthesis. *Nanomaterials*, (7, no. 12). 460-465.
8. George, S., Raman, S., Mohanan, P. & Sebastian, M.T. (2010). Polymer ceramic composites

for microwave substrate and antenna applications. *Indian Antenna Week: A Workshop on Advanced Antenna Technology*. 1-4.

9. Huang, L., Zhu, P. & Li, G. [et al.]. (2015). Spherical and flake-like BN filled epoxy composites: morphological effect on the thermal conductivity, thermo-mechanical and dielectric properties. *Journal of Materials Science: Materials Electronics*, (Vol. 26, no. 6). 3564-3572.

10. Murali, K.P., Rajesha, S. & Prakash, O [et al.]. (2009). Comparison of alumina and magnesia filled PTFE composites for microwave substrate applications. *Materials Chemistry and Physics*, (Vol. 113, no. 1). 290-295.

11. Kryzhanovsky, V.K., Kerber, M.L., Burlov, V.V. & Panimatchenko, A.D. (2008). *Production of products from polymeric materials: textbook. manual*. St. Petersburg: Profession. (In Russ.). ISBN 978-5-93913-064-6.

12. Tchmyreva, V.V., Ponomarenko, A.T. & Shevchenko, V.G. (2004). Electrophysical Properties of Polymer Based Composites with Barium Titanate ( $BaTiO_3$ ). *Ferroelectrics*, Vol. 307, no. 1. P. 233-242. DOI: 10.1080/00150190490493276.

13. Vershinin, V.I. & Percev, N.V. (2005). *Planning and mathematical processing of the results of a chemical experiment*. Omsk: Publishing house OmsU. (In Russ.).

14. Eremin, E.N., Kukushina, K.G., Rogachev, E.A. & Tishchenko, N.M. (2023). Properties of composite materials consisting of epoxy-dian resin and barium titanate. *Polzunovsky Bulletin*, (1), 223-229. (In Russ.).

## Information about the authors

E.N. Eremin - Doctor of Technical Sciences, Dean of the Mechanical Engineering Institute, Professor of the Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation.

K.G. Kukushina - engineer-technologist I cat. sector of new materials and technologies of the Central Design Bureau of Automatics, Omsk, Russian Federation.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14 апреля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 14 Apr 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.





Научная статья  
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)  
УДК577.11

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.031

 EDN: YVDBMC

## БИОПОЛИМЕРЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СУБСТРАТ ДЛЯ БИОКОНВЕРСИИ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Наталья Юрьевна Демиденко <sup>1</sup>, Мария Евгеньевна Арканова <sup>2</sup>,  
Гульнара Заляльтыновна Ягудина <sup>3</sup>, Оксана Николаевна Еременко <sup>4</sup>,  
Вероника Валентиновна Тарнопольская <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск Россия

<sup>1</sup> natalie.demid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6245-8426>

<sup>2</sup> littlestranger@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1734-0709>

<sup>3</sup> gulka13020@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6245-8426>

<sup>4</sup> oks.eriomenko@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8740-0642>

<sup>5</sup> veronichkat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1142-4488>

**Аннотация.** Актуальность настоящих исследований заключается в изучении перспектив использования растительных биополимеров путем биоконверсии базидиальными грибами.

Проведенные исследования показали, что биотрансформацию растительных биополимеров костры технической конопля и древесных отходов эффективно проводить дереворазрушающими базидиомицетами рода *Pleurotus*.

**Ключевые слова:** растительные биополимеры, техническая конопля, костра, древесные отходы, биоконверсия, базидиальные грибы.

**Для цитирования:** Биополимеры – перспективный субстрат для биоконверсии сырья растительного происхождения / Н. Ю. Демиденко [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 208–212. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.031, EDN: <https://elibrary.ru/YVDBMC>.

Original article

## BIOPOLYMERS ARE A PROMISING SUBSTRATE FOR BIOCONVERSION OF RAW MATERIALS OF PLANT ORIGIN

Natalia Yu. Demidenko <sup>1</sup>, Maria E. Arkanova <sup>2</sup>, Gulnara Z. Yagudina <sup>3</sup>,  
Oksana N. Eremenko <sup>4</sup>, Veronika V. Tarnopolskaya <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup> natalie.demid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6245-8426>

<sup>2</sup> littlestranger@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1734-0709>

<sup>3</sup> gulka13020@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6245-8426>

<sup>4</sup> oks.eriomenko@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8740-0642>

<sup>5</sup> veronichkat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1142-4488>

**Abstract.** The relevance of these studies lies in the study of the prospects for the use of plant biopolymers by bioconversion with basidial fungi.

The conducted studies have shown that the biotransformation of plant biofields from industrial hemp fires and wood waste is effectively carried out by tree-destroying basidiomycetes of the genus *Pleurotus*.

**Keywords:** plant biopolymers, technical hemp, bonfires, wood waste, bioconversion, basidial fungi.

**For citation:** Demidenko, N.Yu., Arkanova, M.E., Yagudina, G.Z., Eremenko, O.N. & Tarnopolskaya, V.V. (2024). Biopolymers are a promising substrate for bioconversion of raw materials of plant origin. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 208-212. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.031, EDN: <https://elibrary.ru/YVDBMC>.

# БИОПОЛИМЕРЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СУБСТРАТ ДЛЯ БИОКОНВЕРСИИ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

## ВВЕДЕНИЕ

Биополимеры растительного происхождения привлекают внимание многих исследователей. Большой интерес представляют биополимеры древесного и недревесного происхождения. К числу наиболее часто изучаемых макромолекулярных соединений растительного происхождения относятся углеводные (полисахариды) и фенольные биополимеры (лигнин и экстрактивные вещества).

На долю Российской Федерации приходится больше 20 % мировых запасов древесной породы, при этом большая доля лесов (около 80 %) сконцентрирована на Европейском Севере (Архангельская область, Карелия и Коми) и Восточной Сибири (Иркутская область и Красноярский край) [1, 2].

Главным отходом деревообрабатывающих компаний в процессе механической обработки древесной породы считаются опилки хвойных пород, общий объем которых порой достигает 20 % от всего обрабатываемого сырья [3]. При этом в настоящее время технологий действенной переработки опилок недостаточно, поэтому, в основном, они складываются и представляют собой не утилизируемый отход производства, который нередко несет, кроме экологической, ещё и пожарную угрозу.

В настоящее время работа исследователей направлена на решение вопросов, связанных с безопасной и экологичной утилизацией подобных крупнотоннажных отходов. В связи с этим перспективным является применение методов биотехнологии, в частности процессов биоконверсии, для трансформации растительного сырья с получением ценных, востребованных на рынке продуктов природного происхождения [4].

Для эффективной биоконверсии необходим отбор и исследование свойств продуцентов, способных ассимилировать основные компоненты предлагаемого субстрата. Известно, что базидиальные грибы обладают оксидоредуктазной и целлюлазной активностью, которые способствуют использованию целлюлозы и других углеводов, а также лигнина, поэтому они являются наиболее перспективными для биотрансформации древесных полимеров, в которых содержание лигноуглеводного комплекса составляет не менее 70 % [4, 5].

Среди базидиомицетов особое внимание привлекают грибы рода *Pleurotus*; они нетоксичны, непатогенны, богаты белками и другими биологически значимыми веществами, обладают хорошо развитой ферментативной системой и имеют высокую скорость роста в условиях твердофазной и жидкофазной ферментации [5, 6].

Цель данной работы заключается в оценке перспектив использования растительных биополимеров в процессе биоконверсии культурой рода *Pleurotus* с получением обогащенных белком кормовых продуктов.

## МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись:

- древесные опилки хвойных пород смешанного состава с открытого полигона в окрестностях г. Лесосибирска Красноярского края. Для биотрансформации использовали фракцию с размером частиц 5–10 мм;
- костра технической конопли.

В качестве продуцентов были выбраны грибы рода *Pleurotus* (*Pleurotus ostreatus* PO-4.1 и *Pleurotus columbinus* PC-2.4). Культивирование на растительных биополимерах проводили твердофазным методом при температуре 27 °С. Посевной материал вносили в виде агаризованных блоков.

Для определения химического состава древесных отходов и костры технической конопли использовали методы, принятые в химии растительного сырья. Содержание полисахаридов устанавливали с использованием метода Кизеля и Семигановского. Содержание веществ лигниновой природы определяли по методу Кеннига с использованием 72 % серной кислоты [7].

Содержание белка в биомассе растительного сырья определяли с помощью красителя амидо-черного 10 В по методу Г.А. Бузуна [8].

Перевариваемость определяли по методике Жукова [9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Исходное растительное сырье перед проведением исследования химического состава и биодеструкцией механически измельчали. В работе использовали фракцию с размером частиц не более 10–20 мм.

Чистую культуру *Pleurotus* выращивали на агаризованной среде сусло-агар в чашках Петри. Мицелии *P. Ostreatus* P.O.-4.1 и *P. Columbinus* P.C.-2.4 в поверхностной культуре представлены на рисунках 1 и 2.

В ходе роста штаммы формировали колонии, которые характеризуются следующими признаками: округлой формой с ярко выраженной концентрической зональностью. Край колонии ворсинчатый, плоский профиль, структура волокнистая. Мицелий с трудом отделяется от субстрата, на колонии четко выражены радиальные кольца.

Вегетативный мицелий *P. columbinus* представленный на рисунке 3, как и мицелий *P. ostreatus*, представленный на рисунке 4, состоит из тонкостенных, септированных и ветвящихся гиф с множественными пряжками. Диаметр генеративной гифы составляет 1,5–3,0 мкм, также отмечается образование многочисленных мицелиальных тяжей. На мицелии зафиксировано формирование шаровидных головчатых структур, что характерно для видов рода *Pleurotus*. Отмечают, что экскреторные конидии выделяют капли токсина, который оказывает подавляющее действие на бактерии, дрожжи и некоторые микроскопические грибы.

Для изучения процесса трансформации

растительных биополимеров грибами рода *Pleurotus* были сформированы различные соотношения опилок и костры конопли.

Субстратные композиции были взяты в соотношениях 80/20, 60/40, 50/50, 40/60 и 20/80 соответственно (костра конопли / хвойные опилки).

Биотрансформацию растительных полимеров проводили поверхностным способом, используя в качестве посевного материала агаровые блоки, вырезанные из краевой зоны роста семисуточной культуры.

Агаровые блоки вносили по одной штуке на пять грамм воздушно сухого субстрата, увлажненного до 80 %.

На двенадцатые сутки грибы рода *Pleurotus* полностью освоили субстрат. Наибо-

лее интенсивный рост наблюдался на седьмые сутки культивирования (рисунок 1).

Влияние степени подготовки на процесс биодеструкции оценивали по значению скорости роста и ростовому коэффициенту, которые представлены в таблице 1.

Также была рассчитана убыль массы. Значения убыли массы субстратных композиций представлены в таблице 2.

Для изучения процесса биоконверсии был изучен химический состав до и после культивирования базидиальных грибов.

Результаты исследований представлены в таблице 3.



Рисунок 1 – Мицелий *P. ostreatus* P.O.-4.1 в поверхностной культуре

Figure 1 – Mycelium of *P. ostreatus* P.O.-4.1 in surface culture



Рисунок 2 – Мицелий *P. columbinus* P.C.-2.4 в поверхностной культуре

Figure 2 – Mycelium of *P. columbinus* P.C.-2.4 in surface culture

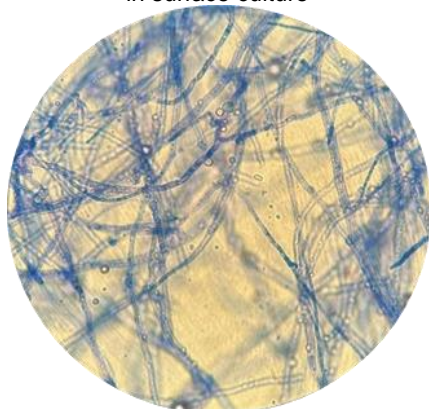


Рисунок 3 – Микроморфологические особенности штамма *Pleurotus ostreatus* PO-4.1.

Figure 3 – Micromorphological features of *Pleurotus ostreatus* PO-4.1 strains

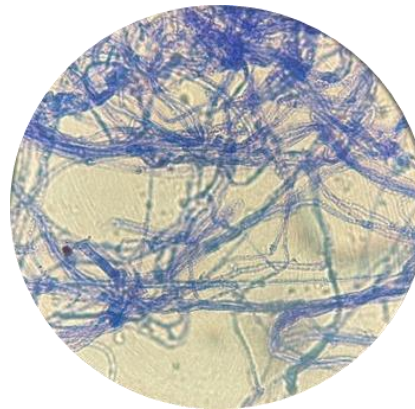


Рисунок 4 – Микроморфологические особенности штамма *Pleurotus columbinus* PC-2.4

Figure 4 – Micromorphological features of the strain *Pleurotus columbinus* PC-2.4

### ОБСУЖДЕНИЕ

Изученный химический состав субстратных композиций характеризуется высоким содержанием лигноуглеводного комплекса (полимеров углеводной и фенольной природы). Это свидетельствует о потенциальной пригодности всех видов рассматриваемого сырья для биоконверсии.

Высокие ростовые показатели базидиомицетов рода *Pleurotus* при культивировании на растительных биополимерах, таких как костра конопли и смесь хвойных опилок, позволяют рекомендовать данный продуцент для получения продуктов биоконверсии.

## БИОПОЛИМЕРЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СУБСТРАТ ДЛЯ БИОКОНВЕРСИИ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Таблица 1 – Среднесуточная скорость роста и ростовой коэффициент мицелиальных колоний *Pleurotus* в зависимости от среды культивирования

Table 1 – Average daily growth rate and growth coefficient of *Pleurotus* mycelial colonies depending on the cultivation medium

Наименование показателя	Компонентный состав субстрата (костра конопли / хвойные опилки)				
	80/20	60/40	50/50	40/60	20/80
<i>Гриб Pleurotostreatus</i> PO-4.1					
Скорость роста	4,2	4,2	4,2	4,2	3,3
Ростовой коэффициент	63,3	63,3	63,3	63,3	53,3
<i>Гриб Pleurotuscolumbinus</i> PC-2.4					
Скорость роста	4,2	3,6	3,6	3,3	2,7
Ростовой коэффициент	95	86	84	80	70

Таблица 2 – Убыли массы субстратных композиций при биоконверсии

Table 2 – Weight loss of substrate compositions during bioconversion

Показатель	Вид растительного биополимера				
	80/20	60/40	50/50	40/60	20/80
Костра конопли/хвойные опилки <i>Pleurotostreatus</i> PO-4.1					
Убыль массы	8,64	8,14	7,21	4,34	4,06
Костра конопли/хвойные опилки <i>Pleurotuscolumbinus</i> PC-2.4					
Убыль массы	14,96	10,5	7,01	5,82	4,27

Таблица 3 – Компонентный состав основных веществ в исходном сырье и продуктах биоконверсии грибами рода *Pleurotus*

% a.c.m.

Table 3 – The component composition of the main substances in the feedstock and bioconversion products by fungi of the genus *Pleurotus*

% a.d.m.

Наименование компонента	Субстратная композиция (костра конопли / опилки)				
	80/20	60/40	50/50	40/60	20/80
Минеральные вещества	5,05	4,52	3,69	3,27	3,07
	3,44*	3,36*	2,52*	2,03*	2,00*
Экстрактивные вещества	8,17	7,82	7,03	6,85	5,81
	4,35*	4,74*	5,24*	5,04*	5,00*
Легкогидролизуемые полисахариды (ЛГП)	17,53	17,42	16,47	16,58	16,38
	15,65*	15,02*	14,82*	15,87*	15,44*
Трудногидролизуемые полисахариды (ТГП)	36,76	36,52	34,39	33,34	29,77
	30,84*	31,24*	32,97*	32,41*	28,01*
Негидролизуемый остаток	27,57	25,12	24,71	23,94	22,05
	25,11*	23,01*	23,15*	22,23*	18,99*
Азотсодержащие соединения	0,13	0,09	0,08	0,06	0,04
	5,07*	3,33*	2,96*	2,22*	1,48*

\* Значения после проведения биоконверсии с учетом убыли массы

В процессе культивирования изменяется количественное соотношение компонентов лигно-углеводного комплекса. Как видно из результатов исследования химического состава субстратных композиций растительных биополимеров до и после культивирования, в значительной степени утилизируется углеводная часть. Для более эффективной биотрансформации базидиальными грибами методом твердофазной ферментации рекомендуется использовать соотношение костры технической конопли и хвойных опилок – 50/50 или 60/40.

Продукты биоконверсии после культивирования имеют степень перевариваемости 27–34 %, что позволяет рекомендовать полученный продукт в качестве кормовой добавки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по результатам проведенных исследований наиболее благоприятным субстратом для биоконверсии с получением обогащенных белком кормовых продуктов можно считать субстратные композиции на основе хвойных опилок и соломы, содержание белка в таком

продукте превышает 13 %. Экспериментально установлено, что использование в качестве инокулята агарового блока *Pleurotus ostreatus* P.O.-4.1 и *Pleurotus columbinus* PC-2.4 позволяет вести процесс биоконверсии с достаточной эффективностью, способствует быстрой колонизации субстрата мицелием и накоплению значительного количества белка в культуре. По полученным значениям белка и перевариваемости данные субстратные композиции на основе растительных биополимеров можно рекомендовать в качестве кормового продукта при выращивании сельскохозяйственных животных и птиц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Финансовые новости. – <https://zaimisrochno.ru/articles/5455-zapasy-lesa-v-rossii-reyting-stran>-2021.
2. Гелес И.С. Древесное сырье – стратегическая основа и резерв цивилизации. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. 499 с.
3. Баяндин М.А., Ермолин В.Н., Елисеев С.Г. Влияние механоактивации на аутогеионные свойства древесины. Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 31. № 1–2. С. 159–163.
4. Тарнопольская В.В., Алаудинова Е.В., Саволайнен А.С., Роптопуло С.И. Химический состав глубокой культуры ксилотрофных базидиомицетов рода *Pleurotus*. Хвойные бореальной зоны. 2014. № 1–2. С. 78–80.
5. Заикина Н.В. Основы биотехнологии высших грибов : учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению «Биология». Москва : Проспект науки, 2007. 336 с.
6. Ягудина Г.З., Садаева А.С., Тарнопольская В.В. Древесные отходы хвойных пород как субстрат для биоконверсии. Решетневские чтения. Красноярск : СибГУ имени М.Ф. Решетнева, 2022. С. 859–861.
7. Рязанова Т.В., Чупрова Н.А., Исаева Е.В. Химия древесины. Ч. 2 : Основные компоненты древесины : учеб. пособие для студентов вузов. Красноярск : СибГТУ. 2011. 229 с.
8. Бузун Г.А. Определение белка в растениях с помощью амидочерного. Физиология растений. 1982. № 6. С. 198–204.
9. Жуков А.П. Метод определения перевариваемости кормов *in vitro*. Труды Саратовского зооветинститута. 1961. Т. 10. С. 109–124.

#### Информация об авторах

Н. Ю. Демиденко – к.т.н., доцент кафедры «Химической технологии древесины и биотехнологии» Сибирского государственного университета им. М.Ф. Решетнева, тел.89029820570.

М. Е. Арканова – аспирант кафедры «Химической технологии древесины и биотехнологии» Сибирского государственного университета им. М.Ф. Решетнева.

Г. З. Ягудина – магистр кафедры «Химической технологии древесины и биотехнологии» Сибирского государственного университета им. М.Ф. Решетнева.

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

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 15 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.

О.Н. Еременко – к.т.н., доцент кафедры «Химической технологии древесины и биотехнологии» Сибирского государственного университета им. М.Ф. Решетнева.

В. В. Тарнопольская – к.т.н., доцент кафедры «Химической технологии древесины и биотехнологии» Сибирского государственного университета им. М.Ф. Решетнева.

#### REFERENCES

1. Financial news. (2021). <https://zaimisrochno.ru/articles/5455-zapasy-lesa-v-rossii-reyting-stran> (In Russ.).
2. Geles, I.S. (2007). Wood raw materials - the strategic basis and reserve of civilization. Petrozavodsk : Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (In Russ.).
3. Bayandin, M.A., Ermolin, V.N., Eliseev, S.G. (2013). The effect of mechanical activation on the autogenic properties of wood. Coniferous trees of the boreal zone. Vol. 31 No. 1-2. pp. 159-163. (in Russ.).
4. Tamopolskaya, V.V., Alaudinova, E.V., Savolainen, A.S., Roptopulo, S.I. (2014). Chemical composition of deep culture of xylophilic basidiomycetes of the genus *Pleurotus*. Coniferous trees of the boreal zone. No. 1-2. pp. 78-80. (in Russ.).
5. Zaikina, N.V. (2007). Fundamentals of biotechnology of higher fungi : a textbook for students studying in the field of Biology. Moscow : Prospekt nauki, 336 p. (In Russ.).
6. Yagudina, G.Z. Sadaeva, A.S., Tamopolskaya, V.V. (2022). Wood waste of coniferous species as a substrate for bioconversion. Reshetnev readings. Krasnoyarsk: SibGU named after M.F. Reshetnev, pp. 859-861. (In Russ.).
7. Ryzanova, T.V., Chuprova, N.A., Isaeva, E.V. (2011). Chemistry of wood Ch. 2: The main components of wood.: a textbook for university students. Krasnoyarsk : SibSTU. 229 p. (In Russ.).
8. Buzun, G.A. (1982). Determination of protein in plants using amidochemistry. Physiology of plants. No. 6. pp. 198-204. (In Russ.).
9. Zhukov, A.P. (1961). Method for determining the digestibility of feed *in vitro*. Proceedings of the Saratov Veterinary Institute. Vol. 10. pp. 109-124. (In Russ.).

#### Information about the authors

N.Y. Demidenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Chemical Technology of Wood and Biotechnology" of the M.F. Reshetnev Siberian State University, tel.89029820570.

M.E. Arkanova - postgraduate student of the Department of "Chemical Technology of Wood and Bio-technology" of the M.F. Reshetnev Siberian State University.

G.Z. Yagudin - Master of the Department of "Chemical Technology of Wood and Biotechnology" of the Siberian State University named after M.F. Reshetnev.

O.N. Eremenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Chemical Technology of Wood and Biotechnology" of the Siberian State University named after M.F. Reshetnev.

V.V. Tamopolskaya - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Chemical Technology of Wood and Biotechnology" of the Siberian State University named after M.F. Reshetnev.





Научная статья  
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)  
УДК 678

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.032



## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БУТАДИЕНОВОГО И НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ В РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

Афанасий Алексеевич Дьяконов<sup>1</sup>, Андрей Петрович Васильев<sup>2</sup>,  
Айталиа Алексеевна Охлопкова<sup>3</sup>, Надежда Николаевна Лазарева<sup>4</sup>,  
Александр Михайлович Спиридонов<sup>5</sup>, Анатолий Константинович Кычкин<sup>6</sup>,  
Алексей Геннадьевич Туисов<sup>7</sup>, Павел Васильевич Винокуров<sup>8</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 8</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

<sup>1</sup> afonya71185@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>

<sup>2</sup> gtvap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-533X>

<sup>3</sup> okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

<sup>4</sup> lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

<sup>5</sup> spalmik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6520-5785>

<sup>8</sup> pv.vinokurov@s-vfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2004-6631>

<sup>1, 6</sup> Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск, Россия

<sup>6</sup> kyckinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

<sup>7</sup> Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, Россия

<sup>7</sup> tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5889-000>

**Аннотация.** Статья содержит результаты исследования физико-механических, температурных свойств и агрессивности вулканизатов с различным соотношением нитрильного и бутадиенового каучуков в смеси. Изучение таких смесей позволит создавать материалы с оптимальными характеристиками агрессивности и морозостойкости для использования в различных климатических условиях, где температура окружающей среды может опускаться ниже минус 50 °С. По результатам исследования установлено, что максимальными упруго-прочностными свойствами обладают резины на основе бутадиенового каучука совместно с нитрильным. Также введение бутадиенового каучука в резиновую смесь приводит к снижению условного напряжения, твердости, плотности и стойкости к воздействию углеводородных сред, но при этом повышается износостойкость. Результаты испытания после термического старения показали, что у вулканизатов на основе комбинации каучуков и отдельно бутадиенового каучука снижаются условная прочность и относительное удлинение, а также отмечается повышение условного напряжения и твердости. Температурные исследования методами дифференциальной сканирующей калориметрии и термомеханического анализа показали, что температура стеклования и сегментальная подвижность образцов у эластомеров на основе совмещенных каучуков имеют два значения, характерные для нитрильного и бутадиенового каучуков. Также отмечается смещение температурных показателей нитрильной части в сторону низких температур, а у бутадиеновых каучуков – в сторону высоких температур. При исследовании методом электронной микроскопии в объеме эластомеров не было обнаружено резких межфазных переходов между каучуками. Поверхность эластомеров после испытания на абразивное истирание с повышением износостойкости переходит от «ямочного» вида к виду «бороздок».

**Ключевые слова:** бутадиен-нитрильный каучук, бутадиеновый каучук, резиновая смесь, температура стеклования, физико-механические свойства, микроструктура, агрессивность, термическое старение.

**Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект №FSRG-2023-0026).

**Для цитирования:** Исследование свойств эластомеров в зависимости от содержания бутадиенового и нитрильного каучуков в резиновой смеси / А. А. Дьяконов [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 213–221. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.032, EDN: <https://elibrary.ru/VQWGUE>.

© Дьяконов А. А., Васильев А. П., Охлопкова А. А., Лазарева Н. Н., Спиридонов А. М., Кычкин А. К., Туисов А. Г., Винокуров П. В., 2024



## STUDY OF ELASTOMER PROPERTIES DEPENDING ON CONTENT OF BUTADIENE AND NITRILE RUBBERS IN RUBBER MIXTURE

Afanasii A. Dyakonov <sup>1</sup>, Andrey P. Vasilev <sup>2</sup>, Aitalina A. Okhlopkova <sup>3</sup>,  
Nadezhda N. Lazareva <sup>4</sup>, Alexander M. Spiridonov <sup>5</sup>, Anatolii K. Kychkin <sup>6</sup>,  
Aleksei G. Tuisov <sup>7</sup>, Pavel V. Vinokurov <sup>8</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 8</sup> M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

<sup>1</sup> afonya71185@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>

<sup>2</sup> gtvap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-533X>

<sup>3</sup> okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

<sup>4</sup> lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

<sup>5</sup> spalmik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6520-5785>

<sup>8</sup> pv.vinokurov@s-vfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2004-6631>

<sup>1, 6</sup> V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

<sup>6</sup> kychkinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

<sup>7</sup> The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

<sup>7</sup> tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5889-000>

**Abstract.** *The paper presents the results of the study of aggressive resistance, mechanical and temperature properties of elastomers depending on the ratio of nitrile and butadiene rubbers content in the rubber mixture. The study of the properties of rubber mixtures based on the combination of these rubbers will make it possible to obtain products with optimal aggressive and frost resistance properties for use in climatic conditions where the ambient temperature can fall below minus 50°C. According to the results of the research of the mechanical properties, it is established that the rubber based on butadiene rubber together with nitrile rubber has the maximum index of stress-strain properties. Also introduction of butadiene rubber into rubber mixture leads to reduction of conditional stress, hardness, density and resistance to hydrocarbon media, but increases wear resistance. The results after the thermal aging test showed that vulcanizates based on the combination of rubber and severally butadiene rubber have a significant decrease in the conditional strength and relative elongation, and an increase in the conditional stress and hardness are also noted. Temperature studies by differential scanning calorimetry and thermomechanical analysis showed that the glass transition temperature and segmental mobility of the samples of elastomers based on combined rubbers have two values characteristic of nitrile and butadiene rubber. There is also a shift of the temperature indices of the nitrile part towards low temperatures, and of the butadiene rubbers towards high temperatures. The study by electron microscopy in the volume of elastomers did not find sharp interphase transitions between rubbers. The surface of elastomers after abrasive abrasion test with increasing wear resistance goes from dimpled to furrowed appearance.*

**Keywords:** *nitrile butadiene rubber, butadiene rubber, rubber mixture, glass transition temperature, mechanical properties, microstructure, aggressive resistance, thermal aging.*

**Acknowledgements:** *This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project #FSRG-2023-0026).*

**For citation:** Dyakonov, A.A., Vasilev, A.P., Okhlopkova, A.A., Lazareva, N.N., Spiridonov, A.M., Kychkin, A.K., Tuisov, A.G., Vinokurov, P.V. (2024). Study of elastomer properties depending on the content of butadiene and nitrile rubbers in the rubber mixture. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 213-221. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.032, EDN: <https://elibrary.ru/VQWGUE>.

### ВВЕДЕНИЕ

На обширных территориях России в холодный период температура окружающей среды опускается до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже. Для надежной работы техники требуются материалы, способные выдерживать данные условия эксплуатации. Наиболее слабым звеном при применении техники в условиях низких температур являются резинотехнические из-

делия, которые, замерзая, теряют эластические свойства и могут разрушаться под воздействием внешних сил. Морозостойкие резиновые смеси обычно изготавливаются на основе изопреновых, бутадиеновых, силиконовых, фторсилоксановых, бутадиенстирольных и бутадиен-нитрильных каучуков с низким содержанием нитрилакриловой кислоты. Однако, учитывая широкое применение

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2024

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БУТАДИЕНОВОГО И НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ В РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

резинотехнических изделий в контакте с углеводородными средами (узлы трения, уплотнители), актуальной задачей является разработка эластомеров, сочетающих масло- и морозостойкость.

Создание резиновых смесей из принципиально разных типов каучуков – один из перспективных подходов к получению эластомеров с улучшенными эксплуатационными свойствами. Изучение таких смесей, например, гидрированных бутадиен-нитрильных [1], изопренового с бутадиен-нитрильным [2], пропиленоксидного с эпихлоргидриновым [3] и других комбинаций, активно ведётся. Актуальность этого направления обусловлена тем, что надежность техники, используемой при низких температурах, во многом зависит от качества применяемых резинотехнических изделий.

Целью работы является изучение свойств вулканизатов в зависимости от содержания бутадиен-нитрильного и бутадиенового каучуков в резиновой смеси.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является эластомеры на основе комбинации каучуков СКД-В и БНКС-18 АМН с соотношением 100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 20:80; 0:100. Состав резиновой смеси включает следующие ингредиенты:

- бутадиеновый каучук марки СКД-В

(Сибур, Россия), характеризующийся высокой морозостойкостью;

- бутадиен-нитрильный каучук БНКС-18 АМН (Сибур, Россия), характеризующийся хорошей стойкостью к воздействию углеводородным средам и удовлетворительной морозостойкостью;

- стеариновая кислота марки Т-32 (Центр ХимСервис, Россия) является одноосновой карбоновой кислотой алифатического ряда с молекулярной массой 248,48 г/моль, плотностью 0,94 г/мл;

- технический углерод марки N550 (ЭКО-ПОЛЬЗА, Россия) является среднеактивным усиливающим наполнителем с удельной поверхностью 42 м<sup>2</sup>/г, размерами частиц 39–55 нм;

- оксид цинка марки БЦ0М (Эмпилс-цинк, Россия) является активатором вулканизации в резиновых смесях. Массовая доля соединений Zn составляет 99,7 %;

- ускоритель тиазольного типа марки Сульфенамид Ц (РусХимСеть, Россия) с замедленным действием в начальной стадии вулканизации;

- сера (ЭкоТОН, Россия) применяется в качестве вулканизирующего агента резиновой смеси.

Рецептуры резиновых смесей и время загрузки ингредиентов в резиносмеситель приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептуры резиновых смесей на основе каучуков БНКС-18 АМН, СКД-В и их комбинаций

Table 1 – Formulations of rubber compounds based on rubber NBR, BR and their combinations

№	Ингредиенты	Масс.ч.						Время, мин
		1	2	3	4	5	6	
1	БНКС-18 АМН	100,0	80,0	60,0	40,0	20,0	–	0
2	СКД-В	–	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0	0
3	Стеариновая кислота	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0
4	Техуглерод N550	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	2
5	Оксид цинка	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	5
6	Сульфенамид Ц	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	10
7	Сера	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	12
	Итого:	160,4	160,4	160,4	160,4	160,4	160,4	20

Изготовление резиновых смесей производилось в смесителе закрытого типа PL-2200 (Brabender, Германия) при начальной температуре 40 °С, скорости вращения роторов 25 об/мин, общая продолжительность цикла смешения ингредиентов резиновой смеси составляла 20 мин. После смешения резиновая смесь подвергалась вальцеванию. Вулканизация проводилась в термогидравлическом прессе ПКМВ-100 (Импульс, Россия) при давлении 10 МПа и температуре 155 °С в течение 20 минут.

Условная прочность и относительное удлинение при разрыве определялись на испытательной машине Autograph-AGS J (Shimadzu, Япония) в соответствии со стандартом ISO 37-2020. Твердость по Шор А измерялась по ISO 7619-1-2009. Плотность образцов определялась гидростатическим методом по ISO 2781-2022. Объемное истирание вулканизатов определяли на машине трения МИ-2 (Метротекс, Россия) с использованием поверхности зернистостью N150, в соответствии с ISO ГОСТ 23509-79. Остаточное деформационное сжатие (ОДС) на 20 % и

стойкость к термическому старению (72 ч при 100 °С в сушильном шкафу) определялось по ГОСТ 9.029-74. Степень набухания в гидравлическом масле АМГ-10 при комнатной температуре в течение 72 ч определялась по ГОСТ 9.030-74.

Температуру стеклования определяли с помощью дифференциального сканирующего калориметра DSC 204 F1 Phoenix (NETZSCH, Германия). Температурные фазовые переходы исследовали на термомеханическом анализаторе ТМА-60/60Н (Shimadzu, Япония) при нагрузке индентора 50 Н и скорости нагревания 5°С/мин в диапазоне температур от

-100 °С до +100 °С. Надмолекулярная структура образцов исследовалась на сканирующем электронном микроскопе JSM-7800F (Jeol, Япония) в режиме вторичных электронов. Для исследования структуры в объеме образцы подвергались криогенному раскалыванию в жидком азоте.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Физико-механические свойства, термостойкость, ОДС и агрессивностойкость вулканизатов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства эластомеров на основе каучуков БНКС-18 АМН, СКД-В и их комбинаций

Table 2 – Properties of elastomers based on rubber NBR, BR and their combinations

Свойства	Рецептуры					
	1	2	3	4	5	6
Свойства вулканизатов						
ε <sub>p</sub> , %	358	383	422	412	353	381
f <sub>p</sub> , МПа	15,2	15,4	16,8	13,9	10,4	10,8
f <sub>100%</sub> , МПа	4,2	4,1	4,1	3,8	3,6	3,1
Н, Шор А, усл. ед.	73	72	71	70	69	66
ρ, г/см <sup>3</sup>	1,134	1,130	1,125	1,116	1,109	1,105
ΔV, см <sup>3</sup>	0,078	0,055	0,042	0,038	0,033	0,022
ΔQ, %	11,7	23,9	56,2	79,7	97,0	108,6
Свойства вулканизатов после термической обработки (100°Сx72ч)						
ε <sub>p</sub> , %	199	171	210	208	160	145
f <sub>p</sub> , МПа	14,9	12,0	12,7	11,5	8,1	5,3
f <sub>100%</sub> , МПа	8,3	7,7	6,9	5,8	5,5	4,1
Н, Шор А, усл. ед.	76	76	74	73	72	71
ОДС, %	71,5	61,9	59,5	59,7	63,4	73,8

ε<sub>p</sub>, % – относительное удлинение при разрыве; f<sub>p</sub>, МПа – условная прочность при разрыве; f<sub>100%</sub>, МПа – условное напряжение при удлинении на 100%; Н, Шор А – твердость по Шору А; ρ, г/см<sup>3</sup> – плотность; ΔV, см<sup>3</sup> – объемное истирание; ΔQ, % – степень набухания в среде масла АМГ-10; ОДС, % – остаточная деформация сжатия

Из таблицы 2 видно, что относительное удлинение при разрыве вулканизатов на основе бутадиенового и нитрильного каучуков приблизительно одинаковое. Увеличение содержания бутадиенового каучука до 60 масс. ч. приводит к росту относительного удлинения при разрыве, однако дальнейшее увеличение этой доли снижает показатель. Наибольшую прочность на разрыв продемонстрировал вулканизат с соотношением нитрильного и бутадиенового каучуков 60:40 масс. ч. Дальнейшее увеличение содержания бутадиенового каучука снижает прочность. Наибольшие значения условного напряжения и твердости зафиксированы у вулканизата на основе чистого нитрильного каучука, наименьшие – у вулканизата на основе исходного бутадиенового каучука. Введение и дальнейшее увеличение количества бутадиенового каучука в резиновой смеси снижает эти показатели.

Относительное удлинение эластомеров уменьшается примерно в 2 раза после испытания на термическое старение. Условная

прочность у вулканизата на основе нитрильного каучука снижается на 2 %, а у бутадиенового вулканизатана – на 52 %. Также из полученных результатов видно, что введение каучука СКД-В в резиновую смесь уменьшает условную прочность у вулканизатов на основе комбинации каучуков. Условное напряжение и твердость эластомеров повышаются, предположительно из-за снижения подвижности макромолекул каучуков. Уменьшение удлинения в вулканизате на основе нитрильного каучука обусловлено довулканизацией, приводящей к образованию дополнительных серных сшивков между макромолекулами [4]. Наиболее существенное снижение упруго-прочностных характеристик наблюдается у вулканизата на основе бутадиенового каучука вследствие термоокислительных процессов при нагревании [5].

Повышение содержания бутадиенового каучука в резиновой смеси приводит к снижению плотности вулканизатов. Это объясняется более низкой плотностью бутадиенового каучука по сравнению с бутадиен-нитрильным эластомером.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БУТАДИЕНОвого И НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ В РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

При испытании образцов на агрессивностью в гидравлическом масле АМГ-10 наблюдается набухание, которое увеличивается с повышением содержания бутадиенового каучука в резиновой смеси. Из работы известно [6], что бутадиен-нитрильные каучуки применяются для создания резинотехнических изделий с повышенной стойкостью к воздействию углеводородных сред, бутадиеновые же каучуки не обладают подобной особенностью [7].

Наилучшими показателями по результатам исследования ОДС эластомеров обладают образцы на основе комбинации каучуков БНКС-18:СКД-В (60:40) и (40:60) – 59,5 и 59,7 % соответственно. Предположительно улучшение ОДС происходит из-за термодинамической несовместимости каучуков,

вследствие чего образуется армирующий эффект при их смешении.

Абразивное истирание вулканизата на основе бутадиенового каучука в 3,5 раза меньше по сравнению с бутадиен-нитрильным эластомером. По этой причине введение и дальнейшее увеличение содержания каучука СКД-В в резиновой смеси повышает стойкость к абразивному истиранию. Известно, что бутадиеновые каучуки широко применяются в шинной промышленности благодаря высокой износостойкости [8].

В табл. 3 приведены средние значения температуры стеклования вулканизатов, полученные методом дифференциальной сканирующей калориметрии.

Таблица 3 – Средняя температура стеклования эластомеров на основе каучуков БНКС-18 АМН, СКД-В и их комбинаций

Table 3 – Glass transition temperature of elastomers based on rubber NBR, BR and their combinations

Свойство	Образцы					
	1	2	3	4	5	6
$T_{1\text{стек}}, ^\circ\text{C}$	-49,7	-52,3	-51,6	-50,6	-50,3	-
$T_{2\text{стек}}, ^\circ\text{C}$	-	-86,1	-87,6	-87,9	-87,6	-88,3

Эластомер на основе бутадиен-нитрильного каучука, содержащий 17–20 % нитрила акриловой кислоты, обладает температурой стеклования ( $T_{\text{стекл}}$ ) минус 49,7 °С, а на основе бутадиенового каучука – минус 88,3 °С. Эластомеры на основе комбинации каучуков характеризуются двумя пиками температур стеклования, находящимися в температурной области каждого исходного каучука. Образование двух температур стеклования, предположительно, связано с

ихтермодинамической несовместимостью [9]. Это согласуется с результатами других авторов. В работе Мухина В.В. [10] установлено, что резиновые смеси на основе несовместимых каучуков характеризуются двумя температурами стеклования.

Результаты исследования фазовых переходов в температурном диапазоне от минус 100 °С до плюс 100 °С методом термомеханического анализа приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Фазовые переходы эластомеров на основе каучуков БНКС-18 АМН, СКД-В и их комбинаций в температурном диапазоне от минус 100 °С до плюс 100 °С

Table 4 – Phase transitions of elastomers based on rubber NBR, BR and their combinations in the temperature range from minus 100 °С to plus 100 °С

№	Образец	Первый переход, °С	Второй переход, °С
1	БНКС-18 АМН	–	-50,2
2	БНКС-18 80 АМН : СКД-В 20	-81,3	-50,8
3	БНКС-18 60 АМН : СКД-В 40	-81,2	-51,1
4	БНКС-18 40 АМН : СКД-В 60	-83,1	-51,2
5	БНКС-18 20 АМН : СКД-В 80	-85,4	-52,6
6	СКД-В	-85,9	–

При давлении индентора на эластомерные образцы с усилием 50 Н наблюдаются изменения фазовых переходов при нагревании образцов, что свидетельствует о начале сегментальной подвижности макромолекул каучука. У вулканизата на основе одного каучука наблюдается единственный переход, а у образцов на основе комбинации каучуков –

два перехода. Таблица 4 показывает, что наименьшая температура начала сегментальной подвижности (-85,9 °С) наблюдается у образца на основе бутадиенового каучука. Добавление и увеличение доли бутадиен-нитрильного каучука в смеси приводит к постепенному повышению температуры сегментальной подвижности бутадиеновой эласто-

мерной составляющей. Также наблюдается обратный процесс с нитрильной эластомерной частью в сторону более низких температур. В работе [11] было показано, что резины, изготовленные на основе комбинации различных каучуков, демонстрируют два температурных перехода, каждый из которых соответствует одному из используемых типов каучука.

Предположительно, температурные показатели фазовых переходов и стеклования вулканизатов на основе комбинации каучуков смещаются по причине компенсаторных свойств. Температурные показатели бутадиеновой части эластомера смещаются в сто-

рону высоких температур. Более высокая температура начала подвижности макромолекул бутадиен-нитрильного каучука смещает температуру стеклования и фазового перехода бутадиеновой части в область более высоких температур. Напротив, более низкая температура начала подвижности макромолекул бутадиенового каучука обуславливает раннюю сегментальную подвижность нитрильной части эластомера, что смещает температуру стеклования в сторону низких температур.

На рис. 1 представлены микрофотографии надмолекулярной структуры низкотемпературных сколов эластомеров.

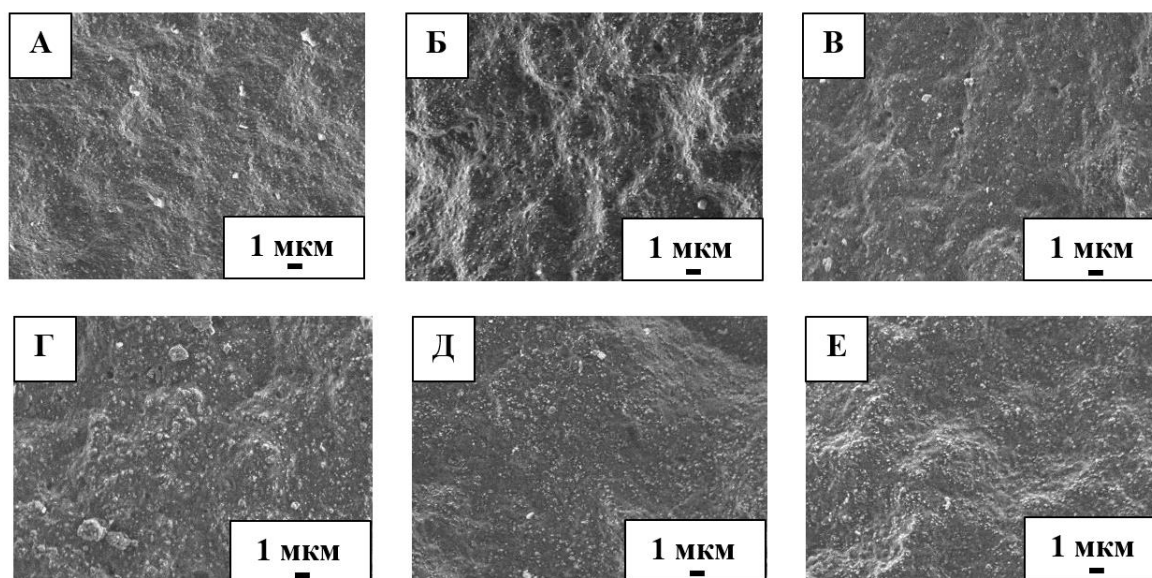


Рисунок 1 – Надмолекулярная структура вулканизатов: а) БНКС-18 АМН; б) СКД-В 20:БНКС-18 АМН 80; в) СКД-В 40:БНКС-18 АМН 60; г) СКД-В 60:БНКС-18 АМН 40; д) СКД-В 80:БНКС-18 АМН 20; е) СКД-В

Figure 1 – The supramolecular structure of elastomers: a) NBR; b) BR 20:NBR 80; c) BR 40:NBR 60; d) BR 60:NBR 40; e) BR 80:NBR 20; f) BR

При исследовании микроструктуры образцов не выявлено резких межфазных границ между нитрильным и бутадиеновым каучуками, что указывает на их достаточно хорошую совместимость. Поверхность образцов с преобладанием в составе бутадиен-нитрильного каучука характеризуется четко выраженным рельефом структуры (рис. 1, а, б, в). На рис. 1, г отмечается образование агломератов технического углерода, которое приводит к снижению условной прочности при разрыве, что подтверждается результатами испытаний. На микроструктуре рис. 1, д, е отмечается гладкая поверхность, которая имеет равномерное распределение технического углерода.

На рисунке 2 приведены микрофотографии поверхности после трения вулканизатов.

На микроснимках поверхности трения

эластомера на основе нитрильного каучука (рис. 2, а) образуются выемки со средней длиной от 80 до 150 мкм. Из микрофотографий видно, что с увеличением содержания бутадиенового каучука наблюдается изменение поверхности образцов после испытания на абразивостойкость (рис. 2, б–д). Структура эластомера на основе исходного бутадиенового каучука имеет вид направленных бороздок (рис. 2, е). Предположительно, на износостойкость оказывает влияние способность эластомеров к передеформации под воздействием внешних сил, которое во многом определяется условным напряжением. Таким образом, перераспределение нагрузки приводит к более равномерному контакту с абразивной поверхностью и отрыву более мелких частиц, вследствие чего происходит повышение износостойкости.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БУТАДИЕНОвого И НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ В РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

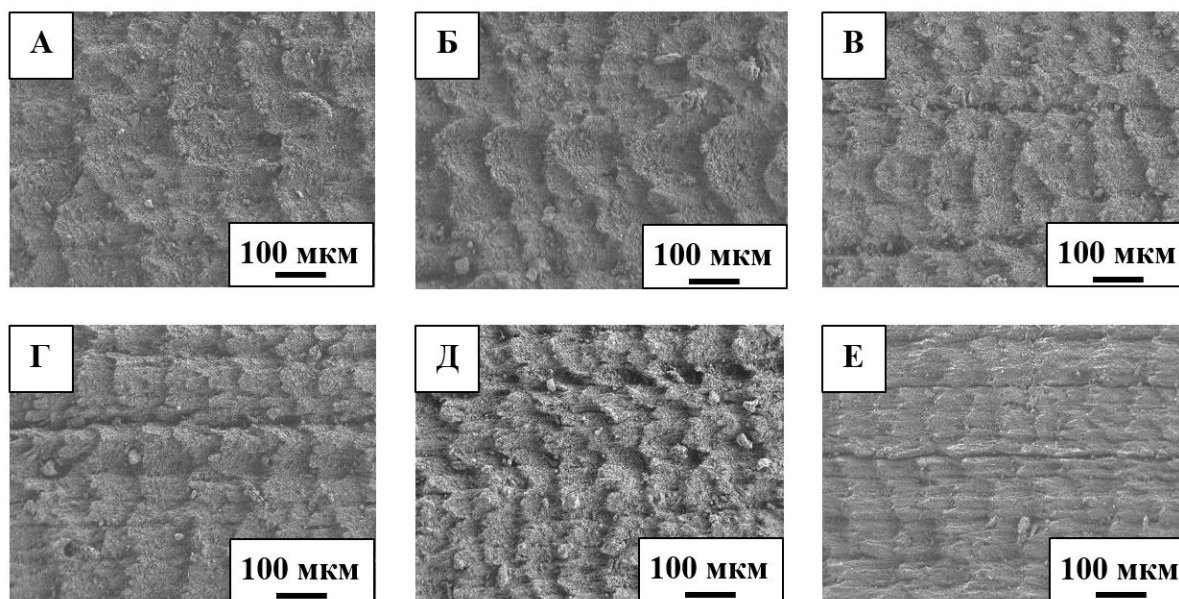


Рисунок 2 – Микрофотографии поверхности эластомеров после испытания на абразивостойкость:

- а) БНКС-18 АМН б) СКД-В 20:БНКС-18 АМН 80; в) СКД-В 40:БНКС-18 АМН 60;  
г) СКД-В 60:БНКС-18 АМН 40; д) СКД-В 80:БНКС-18 АМН 20; е) СКД-В

Figure 2 – Microphotographs of elastomer surface after abrasion resistance testing: а) NBR; б) BR 20:NBR 80; в) BR 40:NBR60; д) BR 60:NBR 40; е) BR 80:NBR 20; ф) BR

### ВЫВОДЫ

Исследование свойств вулканизатов в зависимости от соотношения бутадиенового и нитрильного каучуков в резиновой смеси показало, что:

- наилучшими упруго-прочностными свойствами обладает эластомер с соотношением 60 масс.ч. нитрильного к 40 масс.ч. бутадиенового каучуков;

- после термического старения повышаются твердость, условное напряжение, а также уменьшается относительное удлинение при разрыве. У эластомеров на основе комбинации каучуков и бутадиенового каучука существенно снижается условная прочность;

- добавление бутадиенового каучука в резиновую смесь снижает условное напряжение, твердость, плотность и стойкость к воздействию углеводородных сред, но при этом повышается абразивостойкость;

- эластомерные образцы, полученные на основе смеси каучуков, демонстрируют два значения температуры стеклования и фазовых переходов, соответствующие нитрильному и бутадиеновому каучукам. При этом наблюдается смещение температурных показателей: для нитрильной части в сторону низких температур, а для бутадиеновой – в сторону высоких;

- на микроструктуре в объеме эластомеров не наблюдаются резкие межфазные переходы между каучуками. При абразивном

истирании у более стойкого эластомера структура поверхности имеет вид бороздок.

Таким образом, разработка резинотехнических изделий на основе смесей бутадиенового и бутадиен-нитрильного каучуков позволяет создавать эластомеры с оптимальными свойствами для эксплуатации в условиях Севера при контакте с углеводородными средами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. (2017). Морозостойкая резина на основе комбинации бутадиен-нитрильного и гидриновых каучуков. *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*, (60(8)), С. 60–64. DOI: 10.6060/tcct.2017608.5474.
2. Дьяконов А.А., Тапыев С.А., Охлопкова А.А., Слепцова С.А., Петрова Н.Н., Винокуров П.В., Кычкин А.К., Стручков Н.Ф. (2021). Исследование свойств эластомеров на основе комбинации изопренового и бутадиен-нитрильного каучуков. *Южно-Сибирский научный вестник*, (3), С. 93–97. DOI: 10.25699/SSSB.2021.37.3.003.
3. Гресь И.М., Демидов Д.В., Востриков Д.С., Гусев Д.О., Коваленко В.В., Устинова С.В. (2017). Исследование низкотемпературных свойств и стойкости к действию авиационного керосина эластомеров на основе пропиленоксидного и эпихлоргидринового каучуков. *Известия Волгоградского государственного технического университета*, (11), С. 113–117.
4. Сандалов С.И., Резников М.С., Ушмарин Н.Ф., Кольцов Н.И. (2014). Разработка термоабразивостойкой резины для пакерующих эле-



А. А. ДЬЯКОНОВ, А. П. ВАСИЛЬЕВ, А. А. ОХЛОПКОВА, Н. Н. ЛАЗАРЕВА, А. М. СПИРИДОНОВ,  
А. К. КЫЧКИН, А. Г. ТУИСОВ, П. В. ВИНОКУРОВ

ментов. *Вестник Казанского технологического университета*, (17(9)), С. 129–132.

5. Чичварин А.В., Игуменнова Т.И. (2011). Явление стабилизации теплового старения связующих на основе товарного полибутадиена смесью фуллеренов группы C<sub>50</sub>-C<sub>92</sub>. *Вестник БГТУ*, (4), С. 142–144.

6. Шашок Ж.С. (2021). Упругопрочностные свойства резин на основе БНКС-18 с углеродными наноструктурными материалами и малоактивным техническим углеродом. *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*, (1(241)), С. 88–94.

7. Золотарев В.Л., Аксенов В.И. (2014). Российская промышленность синтетических каучуков в 2013 году. Некоторые итоги. *Промышленное производство и использование эластомеров*, (2), С. 3–7.

8. Фомина А.А., Чемагин А.В. (2015). Потребление синтетических каучуков в РФ. *Каучук и резина*, (3), С. 38–41.

9. Шварц А.Г., Динзбург Б.Н. Совмещение каучуков с пластиками и синтетическими смолами. Москва: Химия, 1972. 224 с.

10. Мухин В.В., Петрова Н.Н., Капитонов Е.А., Афанасьев А.В. (2016). Разработка стойких к авиационным синтетическим маслам резин на основе смесей нитрильных и диеновых каучуков. *Вестник Северо-Восточного федерального университета*, (6(56)), С. 41–50.

11. Тапыев С.А., Дьяконов А.А., Охлопкова А.А., Васильев А.П., Данилова С.Н., Лазарева Н.Н., Кычкин А.К., Туисов А.Г., Винокуров П.В., Спиридонов А.М., Стручков Н.Ф., Анисимов Е.Е. (2023). Исследование влияния соотношения бутадиенового и бутадиен-нитрильного каучуков на свойства резиновых смесей на их основе. *Вопросы материаловедения*, (4(116)), С. 89–98. DOI: 10.22349/1994-6716-2023-116-4-89-98.

### **Информация об авторах**

**А. А. Дьяконов** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов» имени доцента С.А. Слепцовой Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова»; научный сотрудник ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН».

**А. П. Васильев** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов» имени доцента С.А. Слепцовой Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

**А. А. Охлопкова** – доктор технических наук, профессор химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

**Н. Н. Лазарева** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, зав. УНТЛ

«Технологии полимерных нанокомпозитов» имени доцента С.А. Слепцовой Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

**А. М. Спиридонов** – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, зав. лаб. «Полимерные композиты для Севера» Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

**А. К. Кычкин** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН».

**А. Г. Туисов** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН».

**П. В. Винокуров** – научный сотрудник УНТЛ «Графеновые нанотехнологии» Физико-технического института ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

### **REFERENCES**

1. Ushmarin, N.F., Egorov, E.N. & Kolcov, N.I. (2017). Morozostojkaya rezina na osnove kombinacii butadien-nitrilnogoigidrinovyh kauchukov. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, (60(8)), 60-64. (In Russ.). DOI: 10.6060/tcct.2017608.5474.

2. Dyakonov, A.A., Tapyev, S.A., Ohlopko-va, A.A., Slepcova, S.A., Petrova, N.N., Vinokurov, P.V., Kychkin, A.K. & Struchkov, N.F. (2021). Issledovanie svojstv elastomerov na osnove kombinacii izoprenovogo ibutadien-nitrilnogo kauchukov. *Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik*, (3), 93-97. (In Russ.). DOI: 10.25699/SSSB.2021.37.3.003.

3. Gres, I.M., Demidov, D.V., Vostrikov, D.S., Gusev, D.O., Kovalenko, V.V. & Ustinova, S.V. (2017). Issledovanie nizkotemperaturnyh svojstv i stojkosti k dejstviyu aviacionnogo kerosina elastomerov na osnove propilenoksidnogo i epihlorgidrinovogo kauchukov. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, (11), 113-117. (In Russ.).

4. Sandalov, S.I., Reznikov, M.S., Ushmarin, N.F. & Kolcov, N.I. (2014). Razrabotka termogressivostojkoj reziny dlya pakeruyushchih elementov. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (17(9)), 129-132. (In Russ.).

5. Chichvarin, A.V. & Igumennova, T.I. (2011). Yavlenie stabilizacii teplovogo stareniya svyazuyushchih na osnove tovarnogo polibutadiena smesy fullerenov grupy C<sub>50</sub>-C<sub>92</sub>. *Vestnik BGTU*, (4), 142-144. (In Russ.).

6. Shashok, Zh.S. (2021). Uprugoprochnostnye svojstva rezin na osnove BNKS-18 s uglerodnymi nanostrukturnymi materialami i maloaktivnym tekhnicheskim uglerodom. *Trudy BGTU. Seriya 2: Himicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya*, (1(241)), 88-94. (In Russ.).

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БУТАДИЕНОВОГО И НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКОВ В РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ

7. Zolotarev, V.L. & Aksenov, V.I. (2014). Rossijskay a promyshlennost' sinteticheskikh kauchukov v 2013 godu. Nekotorye itogi. *Promyshlennoe proizvodstvo i ispolzovanie elastomerov*, (2), 3-7. (In Russ.).

8. Fomina, A.A. & Chemagin, A.V. (2015). Potreblenie sinteticheskikh kauchukov v RF. *Kauchuk i rezina*, (3), 38-41. (In Russ.).

9. Shvarc, A.G. & Dinzburg, B.N. (1972). Sovmeshchenie kauchukov s plastikami i sinteticheskimi smolami. Moscow : Himiya. (In Russ.).

10. Muhin, V.V., Petrova, N.N., Kapitonov, E.A. & Afanaseev, A.V. (2016). Razrabotka stojkih k aviacionnym sinteticheskim maslam rezin na osnove smesey nitrilnyhidienovykh kauchukov. *Vestnik Severo-Vostochnogo federalnogo universiteta*, (6 (56)), 41-50. (In Russ.).

11. Tapyev, S.A., Dyakonov, A.A., Ohlopko-va, A.A., Vasileev, A.P., Danilova, S.N., Lazareva, N.N., Kychkin, A.K., Tuisov, A.G., Vinokurov, P.V. Spiridonov, A.M., Struchkov, N.F. & Anisimov, E.E. (2023). Issledovanie vliyaniya sootnosheniya butadienovogo i butadien-nitrilnogo kauchukov na svojstva rezinovykh smesey na ih osnove. *Voprosy materialovedeniya*, (4(116)), 89-98. (In Russ.). DOI: 10.22349/1994-6716-2023-116-4-89-98.

### **Information about the authors**

A.A. Dyakonov - Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites" named after associate professor S.A. Sleptsova, Institute of Natural Sciences, NEFU; researcher of the "V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS".

A.P. Vasilev - Candidate of Technical Sci-

ences, senior researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites" named after associate professor S.A. Sleptsova, Institute of Natural Sciences, NEFU.

A.A. Okhlopko-va - Doctor of Technical Sciences, Chief researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites" named after associate professor S.A. Sleptsova, Institute of Natural Sciences, NEFU.

N.N. Lazareva - Candidate of Technical Sciences, Leading researcher - Head of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites" named after associate professor S.A. Sleptsova, Institute of Natural Sciences, NEFU.

A.M. Spiridonov - Candidate of Chemical Sciences, Leading researcher - Head of the laboratory "Polymer composites for the North condition", Institute of Natural Sciences, NEFU.

A.K. Kychkin - Candidate of Technical Sciences, leading researcher of the "V.P. Larionov institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS".

A.G. Tuisov - Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the Federal Research Centre "The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS".

P.V. Vinokurov - researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Graphene nanotechnologies", Institute of Physics and Technologies, NEFU.

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

*Статья поступила в редакцию 20 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 20 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*



Научная статья

2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

УДК 678

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.033



## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

Анатолий Константинович Кычкин <sup>1</sup>, Айсен Анатольевич Кычкин <sup>2</sup>,  
Алина Анатольевна Васильева <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт Физико-Технических Проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, Россия

<sup>1</sup> kychkinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

<sup>2, 3, 4</sup> Федеральный Исследовательский Центр «ЯНЦ СО РАН», Якутск, Россия

<sup>2</sup> icen.kychkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1540-8140>

<sup>3</sup> kiir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0701-9786>

**Аннотация.** Для создания перспективных изделий требуются новые композиционные материалы с улучшенными техническими параметрами. Модифицируя эпоксидные связующие, можно создавать армированные композиты с требуемыми характеристиками. В статье отражены исследования три типа нанонаполнителей – наночастицы оксида кремния, одностенные нанотрубки и ультрадисперсные частицы карбида кремния – усиливают эпоксидангидридное связующее. Было обнаружено, что при определённых степенях наполнения эти наполнители эффективно улучшают свойства эпоксидных матриц, обеспечивая однородное распределение частиц в материале.

**Ключевые слова:** эпоксидная смола, наночастицы, модификация, карбид кремния, УНТ, оксид кремния, прочность, ударная вязкость.

**Благодарности:** Авторы выражают благодарность центру коллективного пользования Федерального исследовательского центра Якутского научного центра СО РАН за предоставленную возможность проведения исследований на их оборудовании.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №FWRS-2022-0001).

**Для цитирования:** Кычкин А. К., Кычкин А. А., Васильева А. А. Исследования влияния различных типов наполнителей на свойства полимерной матрицы // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 222– 227. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.033, EDN: <https://elibrary.ru/SOKHZH>.

Original article

## STUDIES OF INFLUENCE OF DIFFERENT TYPES OF FILLERS ON PROPERTIES OF POLYMER MATRIX

Anatoly K. Kychkin <sup>1</sup>, Aysen A. Kychkin <sup>2</sup>, Alina A. Vasilieva <sup>3</sup>

<sup>1</sup> V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk, Russia

<sup>1</sup> kychkinplasma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5276-5713>

<sup>2, 3, 4</sup> Federal Research Center “YaSC SB RAS”, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup> icen.kychkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1540-8140>

<sup>3</sup> kiir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0701-9786>

**Abstract.** To create promising products, new composite materials with improved technical parameters are required. By modifying epoxy binders, it is possible to create reinforced composites with the required characteristics. This study examined how three types of nanofillers - silica nanoparticles, single-wall nanotubes, and ultrafine silicon carbide particles - strengthen an epoxyanhydride binder. It was discovered that at specific levels of filling, these additives significantly enhance the properties of epoxy matrices, ensuring an even distribution of particles in the material.

© Кычкин А. К., Кычкин А. А., Васильева А. А., 2024

# ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

**Keywords:** nanoparticles, silicon carbide, silicon oxide modification, strength, impact strength, CNTs, epoxy resin.

**Acknowledgements:** The authors express their gratitude to the shared use center of the Federal Research Center of the Yakut Scientific Center SB RAS for the opportunity to conduct research using their equipment.

**Funding:** The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. FWRS-2022-0001).

**For citation:** Kychkin, A.K., Kychkin, A.A. & Vasilieva, A.A. (2024). Studies of influence of different types of fillers on properties of polymer matrix. *Polzunovskiy vestnik*. (4), 222-227. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.033, EDN: <https://elibrary.ru/SOKHZH>.

## ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с требованиями машиностроения о снижении материалоемкости, массы конструкций и изделий для обеспечения конкурентоспособности отечественной техники во многих отраслях промышленности широко начинают применяться неметаллические полимерные композиционные материалы в силу коррозионной стойкости, прочности и низкой плотности. Сегодня самыми распространенными в производстве конструктивных композитов в виде связующих являются эпоксидные смолы. Они известны своими технологическими и инженерными свойствами, такими как малотоксичность, низкая ползучесть, высокая прочность, хорошая термическая и размерная стабильность. Однако эпоксидные полимеры обладают низкой ударной вязкостью, жесткостью и ударопрочностью, из-за их сильно сшитой структуры, что является сдерживающим фактором для широкого применения в высоконагруженных и высокопрочных конструкциях.

В определенной мере достичь более высоких показателей по прочности композитов можно модификацией полимерной матрицы, которая может быть физической либо физико-химической. К наполнителям существуют как общие, так и специальные требования. Соответствие им позволяет придавать полимерным композитам нужные свойства. Среди общих требований можно выделить: высокую смачиваемость полимерным материалом; низкую стоимость; химическую и термическую стойкость; хорошую диспергируемость в полимере; нетоксичность.

Задачи, которые нужно решить с помощью наполнителя, определяют специальные требования. Например, может потребоваться повысить теплостойкость, электропроводность или создать негорючие материалы. Также наполнитель может улучшить технологичность, снизить плотность материала и так далее.

Хорошо известно, что полимерные композиционные материалы могут иметь улучшенные механические, электрические и опти-

ческие свойства, если добавить в них наноразмерные наполнители [1–9].

В значительной степени такие улучшения вызваны взаимодействиями на границе раздела между наполнителями и матрицей (эффекты нанограничения) [10–12].

В общем, межфазные взаимодействия внутри композитов рассматривались с химической и структурной точек зрения [13]. Таким образом, в зависимости от области применения можно использовать различные модификации поверхности для улучшения взаимодействия матрица / наполнитель.

Из проведенных [14, 15] работ следует, что модификация нанонаполнителями изменяет морфологию эпоксидной матрицы – дисперсная фаза в надмолекулярной структуре становится более мелкой и однородной.

Для сравнительного анализа нами проведены исследования влияния наполнителей SiO<sub>2</sub>, SiC и УНТ, исполненных в одинаковых условиях, на свойства эпоксиангидридного связующего.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Чтобы сравнить, как наполнители влияют на свойства полимерной матрицы в зависимости от их типа, авторы работ [14, 15] выбрали идентичную и стандартную рецептуру эпоксиангидридного связующего (ЭДИ). Состав ЭДИ был оптимизирован: ЭД-20 – 100 массовых частей, ИМТГФА – 75 массовых частей, УП 606/2 – 1,4 массовой части. Также были подобраны режимы отверждения: нагрев от 120 °С до 150 °С в течение 0,5 часа и термообработка при 150 °С в течение 2 часов. Это обеспечивает необходимые реологические и физико-механические характеристики. В качестве наполнителей применялись:

- силикатные наночастицы (SiO<sub>2</sub>) с размером частиц 20 нанометров и удельной поверхностью 140–160 м<sup>2</sup>/г, изготовленные в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН;

- углеродные одностенные нанотрубки (УНТ) «TUBALL™» производства компании «OCSiAl» (г. Новосибирск), представляющие собой пучки размерами 40 мкм;

• дисперсный порошок карбида кремния (SiC) производства АО НИИ Графит с размерами частиц от 40 до 130 мкм, содержанием SiC около 94,02 %. примеси Mn, Fe, O, Na, Mg, Al, Ca~5,98 % масс [16].

Испытания на определение ударной вязкости связующих проводили согласно ГОСТ 4647-80 на маятниковом копре КММ-И. Испытания образцов связующего на статический изгиб проводили согласно ГОСТ 4648-61. Испытание образцов на растяжение проводили согласно ГОСТ 11262-2017 в виде лопаток. Испытание проводилось на универсальной электромеханической машине INSTRON модели 3369 (Instron, Великобритания).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 1 представлены зависимости ударной вязкости связующего от массового содержания УНТ, карбида кремния и наночастиц SiO<sub>2</sub> T150.

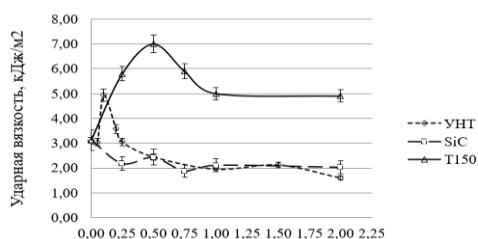


Рисунок 1 – График концентрацией углеродных нанотрубок, карбида кремния и диоксида кремния (SiO<sub>2</sub> T150) в составе и ударной вязкости

Figure 1 – Dependence of binder impact strength on SiO<sub>2</sub>, SiC и CNT content, wt. %

Из графика понятно, что добавление частиц карбида кремния (SiC) ведёт к уменьшению ударной вязкости образцов полимеров. Также уменьшается соотношение между минимальным и максимальным значением вязкости в рассматриваемом диапазоне.

Если добавить углеродные нанотрубки, то показатели ударной вязкости снизятся на 0,25 % от массы. Такое уменьшение прочности может быть связано с изменением кинетики связующего при использовании этих наполнителей.

Эксперименты показали, что при введении наночастиц диоксида кремния (SiO<sub>2</sub>) ударная вязкость увеличивается по всему интервалу концентрации и достигает максимума, возрастая вдвое, при наполнении 0,50 % от массы (рис. 1).

Как следует из графика, внесение частиц SiC приводит к снижению ударной вязкости полимерных образцов. Также происходит снижение отношения между минималь-

224

ным и максимальным значением вязкости в рассматриваемом диапазоне. Наполнение углеродными нанотрубками приводит к снижению показателей ударной вязкости от 0,25 % масс. Данное снижение показателей прочности можно связать с изменением кинетики связующего при использовании данных наполнителей. Эксперименты показали, что при введении наночастиц SiO<sub>2</sub> ударная вязкость повышается по всему интервалу концентрации и достигает максимума в 2 раза при наполнении 0,50 % масс. (рис. 1).

На рисунке 2 представлены результаты испытаний на изгиб.

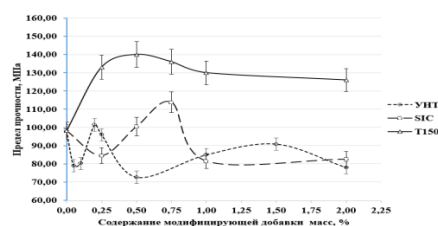


Рисунок 2 – График между концентрацией углеродных нанотрубок, карбида кремния и диоксида кремния (SiO<sub>2</sub> T150) в составе и пределом прочности при изгибе

Figure 2 – Dependence of flexural strength on SiO<sub>2</sub>, SiC и CNT content, wt. %

При анализе результатов испытания видно, что при введении наполнителей в виде УНТ, в пределах концентраций от 0,25 до 2 % масс. наблюдается снижение предела прочности. Для SiC наблюдается незначительное повышение характеристик при содержании 0,75 % масс. При введении 0,50 % масс. наночастиц SiO<sub>2</sub> в эпоксидную матрицу значения прочности на изгиб повышаются на 38–44 %.

На рисунке 3 представлены результаты испытаний на растяжение.

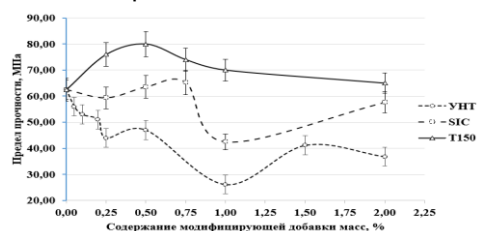


Рисунок 3 – График между концентрацией углеродных нанотрубок, карбида кремния и диоксида кремния (SiO<sub>2</sub> T150) в составе и пределом прочности при растяжении

Figure 3 – Dependence of tensile strength on SiO<sub>2</sub>, SiC и CNT content, wt. %

Из рисунка 6 видно, что при добавлении нанодисперсного наполнителя SiO<sub>2</sub> T150 прочность материала увеличивается, дости-

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

гая максимума при его содержании в связующем 0,50 % масс. При наполнении УНТ предел прочности при растяжении снижается во всём диапазоне концентраций. Небольшое повышение наблюдается при использовании наполнителя SiC. Такое поведение кривых объясняется различным влиянием на процессы образования дефектов в композите дисперсных частиц наполнителя и деформаций полимерной матрицы.

В таблице 1 представлены результаты тестов по определению физико-механических свойств эпоксиангидридного связующего, в состав которого входят SiC, УНТ и SiO<sub>2</sub> T150.

Результаты исследований показывают, что добавление SiC и SiO<sub>2</sub> T150 в количестве 0,5 и 0,75 % масс. даёт положительный эффект, а дальнейшее увеличение содержания наполнителей приводит к снижению прочности материала.

Анализ всех полученных данных позволяет сделать вывод, что благодаря поверхностной активности кремния в объёме связующего формируется каркас, который делает структуру более жёсткой и повышает её устойчивость к сжимающим и изгибным нагрузкам.

Снижение физико-механических свойств эпоксидной матрицы при добавлении наночастиц в диапазоне от 0,75 до 2,00 % масс. может быть связано с образованием неоднородной сетки в образцах. Укрупняющиеся агрегаты частиц становятся точками концентрации напряжений и постепенно перестают упрочнять материал.

Исследования поверхностей разрушения наполненных связующих демонстрируют повышение вязкости разрушения материала за счёт создания структуры, которая препятствует зарождению и распространению трещин (рис. 4).

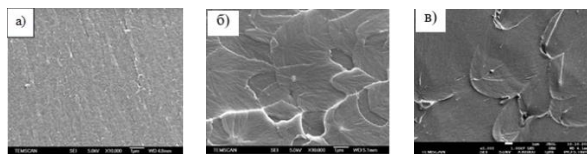


Рисунок 4 – Снимок РЭМ микроструктуры поверхности разрушения в исходном связующем (а) и в наполненном SiO<sub>2</sub> (б), SiC (в)

Figure 4 – SEM photograph of the fracture surface microstructure in the original binder (a) and in the filled SiO<sub>2</sub> (б), SiC (в)

Методом сканирующей электронной микроскопии исследована структура композита на нанометровом уровне (рис. 5). Наблюдается увеличение микрогеометрической

сложности поверхности с ростом числа конусообразных элементов на образцах. Такие изменения в топографии поверхности материалов обусловлены увеличением количества кристаллических структур в связующем (рис. 5), что согласуется с полученными результатами.

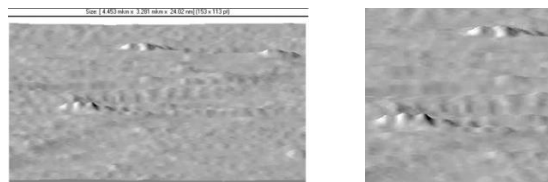


Рисунок 5 – Топография поверхности при наполнении SiO<sub>2</sub> – 0,25 % масс.

Figure 5 – Surface topography when filled with SiO<sub>2</sub>

Взаимодействие эпоксиангидридного связующего с наполнителем диоксида кремния можно схематично представить так (рис. 6):

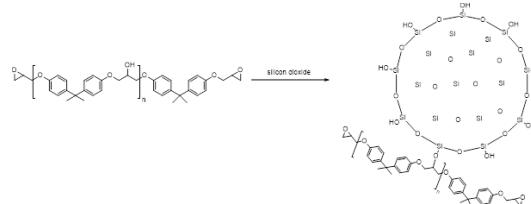


Рисунок 6 – Схема взаимодействия связующего с наполнителем диоксида кремния

Figure 6 – Scheme of interaction between binder and silicon dioxide filler

На поверхности частиц диоксида кремния располагаются силанольные группы (-Si-OH), в то время как связи (-Si-O-Si-) локализованы внутри частиц.

Таким образом, меняется надмолекулярная структура связующего, что подтверждается результатами экспериментов по изучению изменений в структуре и прочностных свойствах связующего после добавления этих наполнителей.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, можно сделать вывод, что механизмы усиления термореактивных матриц кремниевыми наполнителями работают эффективно. Важно отметить, что эти механизмы начинают действовать комплексно при определённых степенях наполнения, когда частицы способны создать в полимерной матрице каркас с центром из частиц наполнителя.

Полученные результаты помогают расширить понимание роли частиц наполнителей как структурообразующего элемента полимерной матрицы, который позволяет регулировать их физико-механические свойства.



Таблица 1 – Результаты упруго-прочностных показателей эпоксидангидридного связующего модифицированного карбидом кремния, УНТ и SiO<sub>2</sub> T150

Table 1 – Results of strength performance of epoxyanhydride binder modified with SiC, CNTs and SiO<sub>2</sub> T150

	Содержание	Ударная вязкость	Статический изгиб	Растяжение
	масс, %	<i>a</i> , кДж/м <sup>2</sup>	$\sigma_u$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа
Исх	0,00	3,12	98,15	62,53
SiC	0,25	2,18	84,58	59,39
	0,50	2,43	100,46	63,58
	0,75	1,88	113,78	65,23
	1,00	2,11	81,51	42,49
	2	2,03	82,57	57,64
УНТ	0,05	3,03	78,97	56,00
	0,10	4,94	80,21	53,05
	0,20	3,58	101,38	51,35
	0,25	3,05	96,04	44,15
	0,5	2,45	72,69	46,90
	1,00	1,95	85,00	26,14
	1,50	2,12	90,85	41,17
SiO <sub>2</sub> T150	2,00	1,60	77,94	36,78
	0,25	5,8	133,55	76,31
	0,50	7,12	141,36	80,12
	0,75	5,90	136,81	74,23
	1,00	5,05	130,53	70,18
	2	4,91	126,13	65,13

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленев Ю.В., Шеворошкин А.В. Роль модификации полимерных систем разных классов в формировании свойств // Пластические массы. 1998. № 4. С. 48–53.
2. Плакурова Е.В., Татаринцева Е.А., Панова Л.Г. Модифицированные эпоксидные смолы // Пластические массы. 2003. № 2. С. 39–40.
3. Тананушко В.С., Маркин В.Б., Анисеева Л.М. Процессы модификации компонентов и их влияние на характер разрушения углепластиков // VIII Международная научно-практическая конференция «Сибресурс». Томск : ТГУ, 2002. С. 101–105.
4. Наномодифицированные эпоксидангидридные матрицы для композиционных материалов на основе органических и минеральных волокон / Е.А. Беляева [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012. № 2. С. 59–62.
5. Properties of basalt composites based on epoxy anhydride binder modified by silicate nanoparticles / A.A. Kuchkin [и др.] // Russian Engineering Research. 2020. № 5 (40). P. 378–383.
6. Калашникова В.Г., Малинский Ю.М. Повышение ударной прочности пластических масс путем введения в них жестких порошкообразных наполнителей // Пластические массы. 1996. № 6. С. 999–1006.
7. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. Москва. : Химия, 1991. 356 с.
8. Кочнев А.М., Галибеев С.С. Модификация полимеров. Казань. Гос.ун-т, 2008. 533 с.

9. Ajayan, P.M. Carbon nanotubes, handbook of nanostructured materials and nano-technology, H.S. Halwa, ed, Academic Press, San Diego. 2000. 139 с.
10. Brozdnichenko A.N., Ponomarev A.N., Proinin V.P. Magnetic properties of multiwall carbon nanotubes and astralenes in strong electric fields // Journal of Surface Investigation, X-ray, Synchrotron and Neutron Tech-niques. 2007. № 1. P. 110–112.
11. Pluart L.L., Duchet J., Sautereau H. Epoxy / montmorillonite nanocomposites: influence of organophilic treatment on reactivity, morphology and fracture properties // Polymer. 2005. № 46. P. 122–126.
12. Alexandre M., Dubois P. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials // Mater. Sci. Eng., R, 28 (2000). P. 1–13.
13. Plueddemann E.P. Interfaces in polymer matrix composites. Composite materials, Academic Press: New York, 1974. Vol. 6. P. 294.
14. Васильева А.А. Повышение прочностных характеристик однонаправленных базальтопластиков модификацией эпоксидного связующего силикатными наночастицами : дис. ... канд. тех. наук. Барнаул, 2013. 140 с.
15. Кычкин А.А. Структура и свойства стеклопластика конструкционного назначения на основе эпоксидангидридного связующего с наполнителями карбида кремния и углеродными нанотрубками : дис. ... канд. тех. наук. Томск, 2024. 161 с.
16. Кычкин А.А. Структура и свойства стеклопластика конструкционного назначения на основе эпоксидангидридного связующего с наполнителями карбида кремния и углеродными нанотрубками: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Я., 2024. 27 с.

# ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ

## Информация об авторах

*А. К. Кычкин – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ИФТПС им. В.П. Ларионова СО РАН.*

*А. А. Кычкин – кандидат технических наук, научный сотрудник Федерального Исследовательского Центра «ЯНЦ СО РАН».*

*А. А. Васильева – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального Исследовательского Центра «ЯНЦ СО РАН».*

## REFERENCES

1. Zelenev, Yu.V., Shevoroshkin, A.V. The role of modifying polymer systems of different classes in the formation of properties. *Plasticheskie massy*, 1998, no. 4, pp. 48-53. (In Russ.).
2. Plakurova, E.V., Tatarintseva, E.A., Panova, L.G. Modified epoxy resins. *Plasticheskie massy*, 2003, no. 2, pp. 39-40. (In Russ.).
3. Tananushko, V.S., Markin, V.B., Anikeeva, L.M. Processes of modification of components and their influence on the nature of destruction of carbon plastics. *Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference "Sibresource"*, Tomsk, TGU Publ., 2002, pp. 101-105. (In Russ.).
4. Vasil'eva, A.A., Belyaeva, E.A., Shatskaya, T.E., Anan'eva, E.S., Osipchik, V.S. Nanomodified epoxy anhydride matrices for composite materials based on organic and mineral fibers. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya*, 2 (In Russ.).
5. Kychkin, A.A., Tuisov, A.G., Maksimova, E.M. [et al.]. Properties of basalt composites based on epoxy anhydride binder modified by silicate nano-particles. *Russian Engineering Research*, 2020, no. 5 (40), pp. 378-383.
6. Kalashnikova, V.G., Malinsky, Yu.M. Increasing the impact strength of plastics by introducing hard powdery fillers into them. *Plasticheskie massy*, 1996, no. 6, pp. 999-1006. (In Russ.).
7. Lipatov, Yu.S. *Physico-chemical foundations of polymer filling*. Moscow, Khimiya Publ., 1991, 356 p. (In Russ.).
8. Kochnev, A.M., Galibeyev, S.S. Modification of polymers. *Kazan, Gos. un-t Publ.*, 2008, 533 p. (In Russ.).

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

*Статья поступила в редакцию 20 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 20 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*

9. Ajayan, P.M. *Carbon nanotubes, handbook of nanostructured materials and nanotechnology*. San Diego, Academic Press, 2000, 139 p.

10. Brozdnicenko, A.N., Ponomarev, A.N., Pronin, V.P. Magnetic properties of multiwall carbon nanotubes and astralenes in strong electric fields. *Journal of Surface Investigation, X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2007, no. 1, pp. 110-112. (In Russ.).

11. Pluart, L.L., Duchet, J. & Sautereau, H. (2005). Epoxy / montmorillonite nanocomposites: Influence of organophilic treatment on reactivity, morphology and fracture properties. *Polymer*, 46, 122-126.

12. Alexandre, M. & Dubois, P. (2000). Polymer-layered silicate nanocomposites: Preparation, properties and uses of a new class of materials. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 28(1), 1-13.

13. Plueddemann, E.P. (1974). Interfaces in polymer matrix composites. In *Composite materials* (Vol. 6, p. 294). New York : Academic Press.

14. Vasilyeva, A.A. (2013). Increasing the strength characteristics of unidirectional basalt plastics by modifying the epoxy binder with silicate nanoparticles [PhD thesis, Technical Sciences]. Barnaul. (In Russ.).

15. Kychkin, A.A. (2024). Structure and properties of structural fiberglass based on an epoxy-anhydride binder with silicon carbide fillers and carbon nanotubes [PhD thesis, Technical Sciences]. Tomsk. (In Russ.).

16. Kychkin, A.A. (2024). The structure and properties of structural fiberglass based on an epoxy anhydride binder filled with silicon carbide and carbon nanotubes: abstract of PhD thesis in Engineering. Y. (In Russ.).

## Information about the authors

*A.K. Kychkin - Ph. D Technical Sciences, Leading Researcher of the V.P. Larionov Institute of Physics and Technology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.*

*A.A. Kychkin - Ph. D Technical Sciences, Researcher at the Federal Research Center "YaSC SB RAS".*

*A.A. Vasilieva - Ph. D Technical Sciences, Senior Researcher at the Federal Research Center "YaSC SB RAS".*



Обзорная статья

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

УДК 678.674

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.034



## ОБЗОР ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ВИНИЛЭФИРНЫХ СМОЛ

Алина Анатольевна Васильева<sup>1</sup>, Алексей Геннадьевич Туйсов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения РАН»

<sup>1</sup> kiir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0701-9786>

<sup>2</sup> tagg@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6819-1937>

**Аннотация.** Ненасыщенные полиэфирные смолы являются одним из необходимых связующих материалов в производстве композитов. Хотя в последнее время наблюдается небольшое снижение объемов их применения, полиэфирные смолы сохраняют свое лидерство как основной связующий компонент и в мировом производстве композитов, и на рынке Российской Федерации. В данном обзоре проведен анализ научно-технической литературы по наномодификации и получения гибридных смол на основе смешения терморективных смол. Установлено, модификация винилэфирной смолы нанонаполнителями разной природы происхождения зависит от способов введения и их совмещения, также от химических свойств поверхности наночастицы. Оптимальные показатели прочности на разрыв, модуля упругости, твердости, термостабильности и устойчивости к УФ-старению нанокompозитов в смоле достигаются при добавлении в интервале 0,08-0,50 мас. % нанонаполнителей. Благоприятное межфазное взаимодействие между нанонаполнителем и матрицей посредством ковалентной сшивки уменьшило межфазные дефекты поверхности композитного материала. Таким образом, синергетический усиливающий эффект даёт основание ожидать многообещающее будущее в получении высокоэффективных материалов на основе модифицированной винилэфирной смолы.

Исследованы особенности получения смешанных смол, структуры и физико-механические свойства композитов на их основе. Выявлено, что развитая взаимопроникающая полимерная сеть, образованная в результате смешивания олигомеров, привела к улучшению свойств гибридного композита при растяжении, изгибе и межламинарном сдвиге по сравнению исходными композитами.

Также приведены результаты исследований последних перспективных реакционноспособных антипиренов для терморективных олигомеров на основе фосфорорганических соединений, которые способствуют снижению горючести композитов конструкционного назначения, но не понижают значительно их теплостойкость и эксплуатационные свойства.

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы, антипирены, винилэфирные смолы, нанонаполнители, сополимеризации, физико-механические свойства, функционализация, эпоксидная смола, межфазные свойства.

**Для цитирования:** Васильева А. А., Туйсов А. Г., Обзор физико-механических свойств на основе винилэфирных смол // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 228 – 235. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.034, EDN: <https://elibrary.ru/LIGAJI>.

## REVIEW OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF BINDERS BASED ON VINYL ESTER RESINS

Alina A. Vasileva<sup>1</sup>, Alexey G. Tuisov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution Federal Research Center "Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences"

<sup>1</sup> kiir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0701-9786>

<sup>2</sup> tagg@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6819-1937>

© Васильева А. А., Туйсов А. Г., 2024

**Abstract.** Unsaturated polyester resins are one of the essential binding materials in the production of composites. In spite of the fact that a slight decrease in the volume of their use is observed, polyester resins still maintain their leadership as the main binding component, both in the global production of composites and in the market of the Russian Federation. In this review we have analyzed scientific and technical literature on nanomodification and obtaining of hybrid resins on the basis of blending thermosetting resins. It is established, modification of vinyl ester resin with nanofillers of different nature of origin depends on the methods of their introduction and their combination, also on chemical properties of nanoparticle surface. Optimal indices of tensile strength, elastic modulus, hardness, thermal stability and UV-aging stability of nanocomposites in resin are reached when nanofillers are added in the range of 0.08-0.50 wt.%. The favorable interfacial interaction between nanofiller and matrix by means of covalent cross-linking reduced the interfacial surface defects of the composite material. Thus, the synergistic reinforcing effect gives reason to expect a promising future in obtaining high-performance materials on the based on modified vinyl ester resin.

The specific features of obtaining mixed resins, structures and physical and mechanical properties of composites based on them have been investigated. It is revealed that the developed interpenetrating polymer network formed as a result of oligomer mixing led to the improvement of hybrid composite properties in tension, bending and interlaminar shear compared to the original composites.

The results of research of the last promising reactive additives for thermosetting resins on the basis of organophosphorus compounds are also given, which contribute to the reduction of flammability of composites of various purposes from them without significant reduction of their heat resistance and strength properties.

**Keywords:** polymer composite materials, flame retardants, vinyl ester resins, nanofillers, copolymerizations, physical and mechanical properties, functionalization, epoxy resin, interfacial properties.

**For citation:** Vasileva A. A. & Tuisov A. G. Review of physico-mechanical properties of binders based on vinyl ester resins. *Polzunovskiy vestnik.* (4), 228-235. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.034, EDN: <https://elibrary.ru/LIGAJI>.

## ВВЕДЕНИЕ

Термореактивные эпоксидные смолы, винилэфирные и эпоксидные новолачные винилэфирные связующие широко используются в многочисленных секторах промышленности в силу своих непревзойденных физико-механических и химических свойств, адгезионной прочности и термической стабильности. Эти полимеры наиболее часто применяются в качестве матриц для изготовления полимерных композиционных материалов, таких как армированные стекловолокном, углеродными и базальтовыми волокнами. Основными потребителями этих материалов являются автомобильная, строительная, ветроэнергетическая, авиационная и космическая отрасли. В экспериментальных исследованиях последних 10 лет были убедительно обоснованы преимущества ненасыщенных полиэфирных смол, которые обладают превосходной коррозионной стойкостью, химической стойкостью, огнестойкостью, быстрым сшиванием и размерной стабильностью. Однако относительно низкие физико-механические и термические свойства ненасыщенных полиэфирных смол ограничивают их использование в современных композитах. По результатам последних исследований продемонстрированы возможности улучшения их характеристик путем модификации химического состава, конфигурации и конформации макромолекул, изменения степени кристалличности материала и фазового разделения.

В данной обзорной статье изучены основные способы повышения технологических и физико-механических характеристик композитов на основе смешанных олигомеров и модифициро-

*POLZUNOVSKIY VESTNIK № 4 2024*

ванных отвержденных винилэфирных олигомеров. Исследованы и показаны влияние перспективных реакционноспособных антипиренов, способствующих снижению горючести ненасыщенных полиэфирных смол.

## МЕТОД

Поиск и подбор материалов по предлагаемой теме исследования производился путем изучения российских и зарубежных литературных источников с использованием академической поисковой системы научных журналов Google и объединенных библиографических реферативных баз данных рецензируемой научной литературы "ResearchGate, ArXiv и Elsevier". Наряду с этим, был применен поиск информации, по ключевым словам, в научной электронной библиотеке "Elibrary.ru". Для поиска материалов по выбранной теме в первоочередном порядке рассматривались научные публикации за последние десять лет. Предыдущие научные статьи были изучены для понимания основополагающих исследований и не заключали в себе новых выводов по изучавшимся аспектам выбранной темы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Свойства полиэфирных смол могут быть улучшены путем добавления неорганических наполнителей, особенно нанопополнителей с

контролируемым размером, формой и текстурными свойствами, что улучшает реологические, оптические, электрические, механические и термические свойства, повышает огнестойкость [1, 2, 10, 12].

Масштабные исследования проводятся по модифицированию винилэфирных смол расслаивающимися силикатными добавками, неорганическими и металлическими наночастицами, оксидами металлов. Ниже рассмотрены некоторые результаты этих исследований. В работе [2] в винилэфирное связующее углепластика добавляли 0,5% нанокремнезема с средним размером частиц 10 нм повысились физико-механические свойства композита: прочность при растяжении на 33%, при изгибе и ударной вязкости 17,8% и 10%, соответственно, по сравнению с исходным винилэфирным связующим, также опытным путем доказано, что нанокремнезем не влияет на термическую стабильность и температуру стеклования смолы. В работах зарубежных исследователей [4-12] проведены исследования по наномодификации систем винилэфирных смол для улучшения их взаимодействия с армированным волокном, что приводит к получению улучшенных композитов из армированного непрерывного волокна. Благодаря значительной прочности и промышленной доступности небольшие количества многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) использовались для улучшения прочности и жесткости полимерных композитных материалов. Поверхностная функционализация МУНТ с использованием активных химических групп может быть выполнена для образования ковалентных связей с полимерной матрицей [4]. Авторами [5] исследованы армирующие композитные стержни изготовленные пултрузионным способом на основе исходной винилэфирной смолы и модифицированной винилэфирной смолы, содержащего 0,50 мас.% СООН-МУНТ. В результате исследований установлено, что функционализация - СООН улучшила дисперсию МУНТ в смоле, также при введении 0,50 мас.% карбоксилированных СООН-МУНТ в смоле повысилась прочность на растяжение на 20% и прочность на сдвиг на 111% по сравнению с исходными стержнями. Кроме того, наблюдалось значительное изменение способа разрушения стержней, что указывает на улучшенную межслойную связь между волокном и модифицированной матрицей. Улучшение адгезионной связи можно объяснить химической реакцией СООН-МУНТ с функциональной группой винилэфирной смолы и образо-

вавшейся связью с силановым покрытием поверхность стеклянных волокон.

В работе [8] исследованы свойства винилэфирных связующих, модифицированных нанокремнеземными нанонаполнителями, такие как графен, оксид графена (ОГ), многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) и одностенной углеродной нанотрубки (ОСУНТ). На основе проведенных исследований установлено, что добавление нанокремнеземных наполнителей увеличивает вязкость полученных связующих в последовательности МУНТ, графен, ОГ и ОСУНТ. Нанонаполнитель графен демонстрирует наилучший армирующий эффект на ВЭС среди четырех нанокремнеземных наполнителей. Модифицированная винилэфирная смола, содержащая 0,2 мас.% графена, демонстрирует увеличение критического коэффициента интенсивности  $K_{Ic}$  и критической скорости высвобождения энергии деформации  $G_{Ic}$  на 45 и 54% соответственно. Добавление ОСУНТ оказывает наименьшее влияние на механические свойства матрицы. Методом электронной микроскопии установлено, что модифицированная винилэфирная смола, содержащая 0,2 мас.% графена, имеет трещины и увеличенное количество трещин на поверхности излома, что согласуется с превосходящим армирующим эффектом графена.

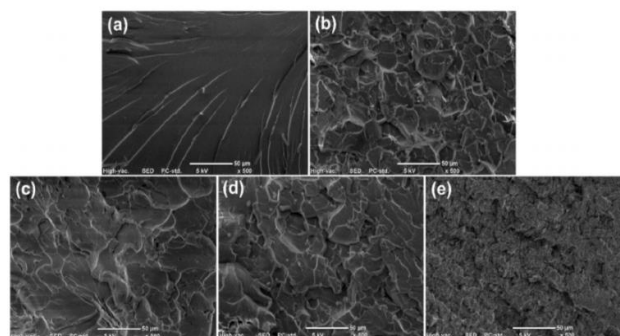


Рисунок 1 - СЭМ-изображение поверхности образцов контрольной винилэфирной смолы (а) и четырех композитов, содержащих графен (б), ОГ(в), МУНТ (г) и ОСУНТ (д) [8].

Масштабная линейка 50 мкм

Figure 1- SEM micrographs of the control vinyl ester resin (a) and four composites containing graphene (b), GO (c), MWCNTs (d), and SWCNTs (e) [8]. The scale bars in the micrographs are 50  $\mu$ m

Кроме того, выявлено по результатам данных измерений динамо-механического анализа, что добавление четырех разных нанокремнеземных наполнителей различной морфологией структур, не оказывает существенного влияния на значения  $T_{ст}$  полученных от-

## ОБЗОР ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ВИНИЛЭФИРНЫХ СМОЛ

вержденных модифицированных винилэфирных смол. Интересным представляется двумерный наноматериал, разработанный авторами исследования [9], состоящий материал на основе карбидов и/или транзитные металлические нитриды, известные как MXene, привлекли внимание исследователей к полимерным композитам благодаря своей уникальной слоистой структуре, высокому соотношению аспектов, исключительной непроницаемости и выдающимся механическим характеристикам. Механические и антикоррозионные свойства полимерных композитов на основе MXene, существенно зависят от дисперсности MXene и межфазных свойств между MXene и полимерной матрицей. В данном исследовании новые двумерные нанолиты MXene были функционализированы 3-метакрилоксипропилтриметоксисилоном (3-МПС) с последующим введением в ВЭС методом смешивания в растворе для улучшения антикоррозионных свойств композитных покрытий. Результаты электрохимической импедансной спектроскопии (EIS) показывают, что введение нанолитов  $\gamma$ МПС-MXene в винилэфирную смолу значительно улучшило антикоррозионные свойства композитного покрытия, а также был выявлен антикоррозионный механизм. Благоприятное межфазное взаимодействие между  $\gamma$ МПС-MXene и матрицей ВЭС посредством ковалентной сшивки уменьшило межфазные дефекты композитного покрытия, а также способствовало улучшению совместимости. Кроме того, однородно диспергированный  $\gamma$ -МПС-MXene в смоле создал плотную среду, что продлило путь диффузии коррозионной среды к подложке из углеродистой стали. Это исследование предлагает многообещающую стратегию изготовления тяжелых антикоррозионных покрытий из наномодифицированных смол, которые могут обеспечить долговременную защиту от коррозии металлических подложек.

Одним из ключевых преимуществ винилэфирных смол является ее теплостойкость, поэтому часто используют в качестве матрицы для изготовления деталей в судостроении. В работе [13] было установлено, что физико-механические свойства стеклопластиков, которые были созданы на основе трудногорючих полиэфирных смол марок Полимер 3088ТА и Аркпол 40М, ориентировочно, соответствуют свойствам материалов, прежде использовавшихся в изготовлении объемных элементов конструкций в судостроении (различаются на величину не более 10%), однако предел прочности при межслойном сдвиге таких стеклопластиков ниже 30 МПа..

Эпоксивинилэфирные смолы на основе бисфенола А могут эксплуатироваться при интервале температур 105-120 °С, смолы Degakane 8084 применяют в качестве матрицы для футеровки газоходов и дымовых труб с постоянной рабочей температурой до 300 °С, ВЭС на основе новолака обладают отличной термостойкостью в течение длительного времени и при температуре до 150° С.

В течение нескольких последних лет компания «ДУГАЛАК» сохраняет лидерство на отечественном рынке в производстве и реализации ненасыщенных полиэфирных смол. Номенклатура «ДУГАЛАК» включает такие марки смол, как Девинил 950ТГ, Депол П-120, Депол СР-700 РМП и другие для выпуска композитных материалов. Винилэфирные смолы Девинил 950ТГ часто применяются для производства лопастей ветрогенераторов, в авиации, строительстве и транспорте. Смола Депол П-150 ПТ с низкой эмиссией стирола, ненасыщенная полиэфирная смола на основе ортофталевой кислоты, с маленьким экзотермическим пиком. В отличие от полиэфирной смолы депол П-120 ПТ которая является не дорогой смолой, обладает повышенной адгезией к базальто-стеклопластику, ПВХ, поэтому применяется для контактного формования, намотки ровингов и применений, требующих климатической стойкости при циклических колебаниях температуры. Дополнительно, следует отметить, из-за своей высокой реактивности смола используется в процессах пултрузии, где демонстрирует свое высокое температурное сопротивление и хорошие электроизоляционные свойства.

Однако воспламеняемость и сильное дымовыделение делают ВЭС менее конкурентоспособным среди огнестойких композитных материалов [14-20]. Горючесть ВЭС ограничивает его применение в строительстве, авиации и других специальных областях, поэтому крайне важно повысить огнестойкость ВЭС. Одним из наиболее действенных способов уменьшить горючесть полимерных материалов является добавление в их состав специальных веществ — антипиренов. Среди них большое внимание привлекают фосфорсодержащие антипирены, особенно 9,10-дигидро-9-окса-10-фосфафенантрен-10-оксид (DOPO) и его производные. По сравнению с другими линейными низкомолекулярными фосфонатами, соединениями фосфора, DOPO и его производные обладают высокой термической стабильностью, отличной огнестойкостью и низкой токсичностью благодаря присутствию циклических фосфат-



ных групп с дифенильной структурой. В работе [15] разработан новый фосфорсодержащий антипирен PBDOO, синтезированный на основе DOPO и ацетофенона. Исследование показало, что при добавлении 15 масс.% PBDOO композит на основе ВЭС прошел тест UL-94 на уровень класс V-0 и кислородный индекс 31,5%. По результатам сравнения с исходным ВЭС, скорость тепловыделения ВЭС-15 снизились на 76,71%. Результаты ИК-спектров показали, что добавление PBDOO значительно снижает образование ароматических соединений и препятствует выделению горючих газов. Кроме того, добавление PBDOO снизило прочность на разрыв композитов ВЭС, тогда как удлинение при разрыве практически не изменилось. Механический анализ подтверждает, что добавление PBDOO способствует формированию коксового слоя, который играет важную роль в ранней изоляции воздуха и тепла. Кроме того, фосфорсодержащие радикалы, образующиеся при расщеплении групп DOPO, могут быстро захватывать свободные радикалы в области пламени, задерживая или прерывая горение.

В данной работе [19] получен ряд огнестойких виниловых эфирных смол (ВЭС) путем сополимеризации фосфор-азотсодержащего акрилата [1,3,5-триглицидил изоцианурат (ТГИЦ) - акриловая кислота (АК)-9,10-дигидро-9-окса-10-фосфафенантрен-10-оксид (DOPO)] и широко используемую ВЭС марки 901. Результаты опытов свидетельствуют о том, что при введении наполнителя 30 и 40 % ТГИЦ-АА-DOPO кислородный индекс термореактивных материалов составляет 30,8 и 31,7 %, а также достигли степени вертикального горения V-1 и V-0 по тесту UL-94, соответственно. Кроме того, значительно снизились пиковые скорости тепловыделения, средние скорости тепловыделения, общие значения тепловыделения, средние эффективные теплоты сгорания и общее дымообразование. Кроме того, вместе с ненасыщенными фосфорсодержащими олигомерами в качестве химически активных модификаторов ВЭС при получении ПКМ перспективно применение хлорсодержащих, фенолформальдегидных смол или моноглицидиловые эфиры различных бромфенолов, где происходит галогенированные соединения действуют следующим образом: они подавляют реакции, происходящие в газовой фазе пламени, таким образом снижая тепловыделение и эффективность горения [20]. Нельзя не упомянуть, что использование низкомолекулярных добавок в качестве антипиренов в композитах, хотя и представляет собой простой способ снижения горючести, может ухудшить некоторые эксплуатационные свойства материалов, затруднить процесс про-

изводства полимерных изделий и не гарантировать длительное сохранение высоких прочностных характеристик.

За последние несколько лет выполнен существенный объем исследований, касающихся в получении смесей термореактивных смол с заданной фазовой структурой, который заключается в синтезировании новых термореактивных материалов или модифицировании известных смол. Создание композиций термореактивных смол не является сложной задачей, так как, в отличие от пластиков или каучуков, смолы обладают относительно низкой вязкостью и их смешение не требует вспомогательного технологического оборудования. Для термореактивных смол могут обнаруживаться сложности в получении полимерных композиционных смол с заданными свойствами и структурами по причине, во-первых, смолы часто сопровождаются фазовым разделением; во-вторых, отверждение смол, значительно различающихся по химической природе, может проходить по различным механизмам. В работе [21] проанализированы адгезионные свойства и остаточные напряжения в композитных материалах при совмещении полиэфирной смолы к эпоксидному связующему. По результатам исследований определено оптимальное соотношение полиэфирной смолы Norsodyne O 12335 AL с эпоксидным олигомером марки ЭД-20. Полимеризовали композицию двумя отвердителями: изо-метилтетрагидрофталиевым ангидридным отвердителем (МТГФА) горячего отверждения и отвердителем для полиэфирных смол марки Бутанокс-М50. Разработана матрица с улучшенными адгезионными свойствами и незначительными показателями остаточных напряжений, которая состоит из следующих компонентов: ЭД-20 (100 масс.%), полиэфирная смола Norsodyne O 12335 AL (40-60 масс.%), отвердитель Бутанокс-М50 (1 масс.%) отвердитель ИЗО-МТГФА (50 масс.%). По результатам физико-механических испытаний отвержденных композиций получены следующие характеристики: адгезионная прочность при разрыве 64,3-69,1 МПа, адгезионная прочность при сдвиге 15,3-18,4 МПа, остаточные напряжения составляет 1,6-1,7 МПа. В.Н.В.С. Ganesh Gupta К с соавторами разработали композит на основе армированного стекловолокна и матрицы на основе смеси эпоксидной смолы и винилэфирной смолы [22]. Развитая взаимопроницающая полимерная сетка, образовавшаяся в результате смешивания смол, привела к улучшению свойств гибридного композита на растяжение, изгиб и межслойный сдвиг,

## ОБЗОР ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ВИНИЛЭФИРНЫХ СМОЛ

чем у композитов стекловолокно-эпоксидная смола (ЭС) и стекловолокно-винилэфирной смола (ВЭС). Композит с взаимопроникающей полимерной сеткой на основе матрицы смеси эпоксидной и винилполиэфирной смолы, армированный стекловолокном привел к улучшению межслойной прочности на сдвиг (ILSS), прочности на растяжение и изгиб на 21,83%, 22,54% и 13,43% соответственно по сравнению с композитом на основе стекловолокна и эпоксидной смолы при оптимальной температуре пост-отверждения. По данным сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) было установлено, что сильная межфазная связь между матрицей и волокном позволила композиту продемонстрировать повышенные механические свойства.

Авторами [23] представлены результаты исследований свойств отвержденных смеси термореактивных смол, армированных параарамидным волокном Кевлар и стеклотканью. Гибридная смола была синтезирована путем получения взаимопроникающей сети между эпоксидной смолой и виниловым эфиром. Показано, что прочность на растяжение и изгиб композитов на основе стекловолокна и гибридная смола (С-ГС) и на основе параарамидного волокна Кевлар и гибридная смола (К-ГС) повысилась на 8,33% и 23,65% и прогрессивное увеличение свойств при изгибе на 8,36% и 30,61% по сравнению с композитами на основе стекловолокна-эпоксидная смола (С-ЭС) и волокно Кевлар-эпоксидная смола (К-ЭС), соответственно.

Таблица 1 - Физико-механические характеристики разработанных композитов [32]

Table 1 – Physical-Mechanical characteristics of developed composite materials [32]

Свойства	Стекловолокно/ Эпоксидная смола (ЭС)	Стекловолокно/ ЭС+ Поливинил- эфирная смола	Волокно Кевлар/ЭС	Волокно Кевлар/ЭС+ полиэфирная смола
Предел прочности при растяжении, МПа	90,99±2,61	98,58±0,76	380,84±13,62	470.93±6,21
Модуль упругости при растяжении, ГПа	6,17±0,70	6,80±0,18	8,61±0,20	9,11±0,16
Предел прочности при изгибе, МПа	111,55±11,33	120,88±5,59	130,66±7,62	170,66±26,15
Модуль упругости при изгибе, ГПа	9,27±1,67	10,55±1,12	7,57±0,06	14,83±3,39
Поглощение энергии $E_{a,кДж/моль}$	14,2±0,4	15,34±0,18	17,1±0,25	17,8±0,53
Максимальная температура деградации, °С	379,81	393,80	379,98	366
Водопоглощение, %	58,37	68,69	42,96	44,37

Данное повышение наблюдаются за счет химической реакции оксирановой группы эпоксидной смолы с гидроксильной группой винилового эфира, что подтверждается данными ИК-спектроскопии и термогравиметрический анализа. Данное исследование показало, что предложенные гибридные композиты превосходят традиционные металлические материалы по прочности и модули упругости. Важно подчеркнуть, что композиты на основе новой гибридной смолы также продемонстрировали заметное влияние на ударную прочность. Энергия удара композитов на основе С-ГС и К-ГС оказалась выше на 8,03% и 4,09% по сравнению с композитами на основе эпоксидной смолы С-ЭС и К-ЭС. Такое заметное улучшение

свидетельствует о том, что эффект блокировки гибридной матрицы в этих двух образцах улучшил поглощаемую энергию удара, что требует более высокой энергии для разрушения образца.

В работе [25] была разработана гибридная термозастывающая смола на основе эпоксидной и полиэфирной смолы, которая была использована в качестве матрицы в однонаправленном композите, армированной углеродной тканью. На основании полученных результатов были отмечены улучшенные межламинарные свойства полученных композитов. В случае как смол, так и композитов прочность на изгиб почти на 10% выше показали гибридные смолы. Также в образцах компози-

тов со смешанной матрицей наблюдается повышение ударной вязкости до 7%, и эти композиты, содержащие смеси терморепактивных смол, выдерживают на порядок большее количество циклических нагрузок в случае испытаний на усталость. Композит со смешанной матрицей по сравнению композитов на основе эпоксидной смолы, показал более высокие статико-механические свойства, такие как прочность на изгиб и повышенную усталостную долговечность. Авторы считают, что помимо механического подхода, есть два важных преимущества гибридной смолы по сравнению с отдельными смолами: во-первых, это пониженное содержание стирола по сравнению с содержанием стирола в исходной полиэфирной смоле, во-вторых, пониженная стоимость по сравнению с исходной смолой.

### ВЫВОДЫ

Значительный объем научно-технических работ по способам получения модифицированных ненасыщенных полиэфирных смол, выполненных исследователями за последние годы, доказывает в перспективности и актуальности их применения для изготовления композитов различного назначения. В результате проведенного анализа многочисленных отечественных и зарубежных научных литературных данных можно сделать вывод, что в большинстве случаев исследователи разрабатывают смешанные системы связующих или предлагают способы модификации наполнителями для получения заданных свойств полимерных композиционных материалов. Разработанные смеси терморепактивных смол придают композитам высокие физико-механические свойства, химическую стойкость при воздействии щелочных и кислотных сред, повышенную ударопрочность при совмещении с армирующими материалами. Следует добавить, что превосходные качества композитов, получаемых на основе смесей терморепактивных смол, позволяют изготавливать на их основе композитные материалы в стратегических отраслях промышленности, строительстве, энергетике, дорожном строительстве и автомобильной промышленности. Отмечено, что физико-механические свойства гибридных терморепактивных смол и композитов на их основе определяются их фазовой структурой и ее изменением при отверждении. Также рассмотрен способ и механизм упрочнения винилэфирных связующих путем модификации нанонаполнителями. Подтвержден положительный эффект их введения в смолы, который приводит к изменению характера структурирования олигомера, способствует повышению механических, теплофизических свойств композитов, при этом снижаются внутренние напряжения и повышается адгезионная прочность. Применение новых перспективных реакционноспособных антипиренов для полиэфирных смол на основе галогенированных и фосфорорганических соединений даст возможность получать стойкие к горению полимерные композиционные материалы без существенного снижения их теплостойкости и физико-механических показателей. Антипирены на основе производных 10-дигидро-9-окса-10-фосафенантрен-10-оксид (DOPO) при горении способствуют образованию коксового слоя на поверхности образцов полимерных композиционных материалов с образованием сшитых структур, формируемых за счет образования полифосфорной кислоты (ПФК) и реакции карбонизации с выделением воды, способствующей снижению горючести за счет разбавления образующихся газов.

позитов, при этом снижаются внутренние напряжения и повышается адгезионная прочность. Применение новых перспективных реакционноспособных антипиренов для полиэфирных смол на основе галогенированных и фосфорорганических соединений даст возможность получать стойкие к горению полимерные композиционные материалы без существенного снижения их теплостойкости и физико-механических показателей. Антипирены на основе производных 10-дигидро-9-окса-10-фосафенантрен-10-оксид (DOPO) при горении способствуют образованию коксового слоя на поверхности образцов полимерных композиционных материалов с образованием сшитых структур, формируемых за счет образования полифосфорной кислоты (ПФК) и реакции карбонизации с выделением воды, способствующей снижению горючести за счет разбавления образующихся газов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/ REFERENCES

1. Angaw C.P., Engidaw A.A., Betelie and Daniel Tilahun. Extraction and characterization of nano-silica particles to enhance mechanical properties of general-purpose unsaturated polyester resin // *Science and Engineering of Composite Materials* 31(1). 2024. doi:10.1515/secm-2024-0001.
2. Paczkowski, P., Puszka, A., Gawdzik, B. Investigation of Degradation of Composites Based on Unsaturated Polyester Resin and Vinyl Ester Resin. *Materials* **2022**, 15,1286. <https://doi.org/10.3390/ma15041286>.
3. A Comparison Study on Toughening Vinyl Ester Resins Using Different Nanocarbon Materials November 2023 *Polymers* 15(23):4536 15(23). DOI:10.3390/polym15234536.
4. Chakraborty, A.K.; Plyhm, T.; Barbezat, M.; Necola, A.; Terrasi, G.P. Carbon nanotube (CNT)–epoxy nanocomposites: A systematic investigation of CNT dispersion. *J. Nanoparticle Res.* 2011,13, pp.6493–650.
5. Shreya Vemuganti, Rahulreddy Chennareddy, Amr Riad and Mahmoud M. Reda Taha. Pultruded GFRP Reinforcing Bars Using Nanomodified Vinyl Ester. *Materials* 13(24):5710. <https://doi.org/10.3390/ma13245710>.
6. Eklund, P.; Ajayan, P.; Blackmon, R.; Hart, A.J.; Kibng, J.; Pradhan, B.; Bao, A.; Rinzler, A. *International Assessment of Research and Development of Carbon Nanotube Manufacturing and Applications*; World Technology Evaluation Center: Baltimore, MD, USA, 2007.
7. S. Yashiro, D. Nakashima, Y. Oya, T. Okabe, R. Matsuzaki // Particle simulation of dual-scale flow in resin transfer molding for process analysis. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, 121 (2019), pp. 283-288, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.03.038>.
8. Yang, R.; Wang, Y.; Ran, X.; Liu, W. A Comparison Study on Toughening Vinyl Ester Resins Using Different Nanocarbon Materials. *Polymers* 2023,15, 4536. <https://doi.org/10.3390/polym15234536>.
9. Wei Chen. [et al.]. Achieving superior anti-

## ОБЗОР ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ВИНИЛЭФИРНЫХ СМОЛ

corrosion properties of vinyl ester resin coatings via compositing with 3-methacryloxy propyl trimethoxysilane functionalized MXene nanosheets. *Polymer Testing*. Volume 127. 2023, pp. 256-260. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108203>.

10. Y. Zhang, J. Sun, X. Xiao, N. Wang. Graphene-like two-dimensional nanosheets-based anticorrosive coatings: a review. *J. Mater. Sci. Technol.*, 129 (2022), pp. 139-

162. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.10.036>.

11. M. Sayer, N.B. Bektaş, O. Sayman. An experimental investigation on the impact behavior of hybrid composite plates. *Compos. Struct.*, 92 (2010), pp. 1256-1262. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.10.036>.

12. Ji, S.G.; Drzal, L.T.; Cho, D. Chemical modification of exfoliated graphite nanoplatelets with CTBN rubber and highly enhanced impact strength of vinyl ester resin by them. *J. Ind. Eng. Chem.* 2021, 102, 293–30. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.07.005>.

13. Трясунов В.С., Шульцева Е.Л., Баганик А.М., Полякова Ю.В. Свойства стеклопластиков на основе огнестойких полиэфирных смол российского производства марок Арпол 40 М и Полимер 3088 ТА. *Вопросы материаловедения*. 2022;(1(109)):147-156. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2022-109-1-147-156>.

14. Huo, S.; Wang, J.; Yang, S.; Cai, H.; Zhang, B.; Chen, X.; Wu, Q.; Yang, L. Synthesis of a novel reactive flame retardant containing phosphaphenanthrene and triazine-trione groups and its application in unsaturated polyester resin. *Mater. Res. Express*. 2018. Volume 5. DOI 10.1088/2053-1591/aab2da.

15. Xiong Y, Jiang Z, Xie Y, Zhang X and Xu W 2013 Development of a DOPO-containing melamine epoxy hardeners and its thermal and flame-retardant properties of cured products. *J. Appl. Polym. Sci.* 127 pp.4352–4358. <https://doi.org/10.1002/app.37635>.

16. Cascaval C. N., Ciobanu C., Rosu D., Rosu L., Polyurethane-epoxy maleate of bisphenol a semi-interpenetrating polymer networks. 2002. *Journal of Applied Polymer Science*. 83 (1), pp. 138-144.

17. Xu, Z.; Zhan, J.; Xu, Z.; Mao, L.; Mu, X.; Tao, R. A Bridge-Linked Phosphorus-Containing Flame Retardant for Endowing Vinyl Ester Resin with Low Fire Hazard. *Molecules* 2022, 27, 8783. <https://doi.org/10.3390/molecules27248783>.

18. J.S. Arrieta, E. Richaud, B. Fayolle, F. Nizeyimana /Thermal oxidation of vinyl ester and unsaturated polyester resins. *Polym. Degrad. Stabil.*, 129 (2016), pp. 142-155. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.04.003>.

19. Aurelio Bifulco [et al.]. Recent advances in flame retardant epoxy systems containing non-reactive

DOPO based phosphorus additives. *Polymer Degradation and Stability*. Volume 200. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2022.109962>.

20. Wang C.S., Lin C.H. Properties and curing kinetics of diglycidyl ether of bisphenol A cured with a phosphorus-containing diamine // *Journal of Applied Polymer Science*. 1999. Vol. 74. No. 7. P. 1635–1645.

21. Браило Н.В., Акимов А.В., Букетов А.В. Исследование адгезионных свойств композитных материалов на основе эпоксидных и полиэфирных смол. *Наукові Нотатки*. №52. 2015. С.10-14.

22. Ganesh G.K., Mritunjay M.H., Bankim C.R. Improved mechanical responses of GFRP composites with epoxy-vinyl ester interpenetrating polymer network // *Polymer Testing*. Volume 93, January 2021, pp.123-129. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.107008>.

23. Hammad Ahmad [et al.]. Development and characterization of kevlar and glass fibers reinforced epoxy/vinyl ester hybrid resin composites. 2024. *Polymer Composites* 45(9). <https://doi.org/10.1002/pc.28329>.

24. Arumugam S, Kandasamy J, Sultan MTH, Safri SNA. Investigations on fatigue analysis and biomimetic mineralization of glass fiber/sisal fiber/chitosan reinforced hybrid polymer sandwich composites. *J Mater Res Technol*. 2021.V10. P.512-525.

25. László Mészáros, Tamás Turcsán. Development and mechanical properties of carbon fibre reinforced EP/VE hybrid composite systems. 2018. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. V58(2). pp.127-133. <https://doi.org/10.3311/PPme.7237>.

### Information about the authors

A. A. Vasilieva - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Federal Research Center "YaSC SB RAS".

A. G. Tuisov - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Federal Research Center "YaSC SB RAS".

### Информация об авторах

А. А. Васильева - кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра ЯНЦ СО РАН.

А. Г. Туисов - кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра ЯНЦ СО РАН.

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

*Статья поступила в редакцию 21 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.*

*The article was received by the editorial board on 21 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.*

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абрамова И. М.	66	Лебедев А. Д.	61
Аксентьева В. В.	93	Лысых С. А.	149
Амелякина М. В.	66	Марьин В. А.	126
Анзельм Е. Г.	173	Маюрникова Л. А.	35
Анисимова Л. В.	99	Миневич И. Э.	21
Арканова М. Е.	208	Мишигдоржийн У. Л.	149
Артемова Е. Н.	53	Моисеев Р. Е.	132
Астафьева О. В.	132	Москвин П. В.	149
Барсуков А. Р.	161	Неверов Е. Н.	167
Барсуков Р. В.	161	Непомнящий А. П.	132
Белина С. А.	93	Николенко М. В.	93
Белов А. Н.	111	Нициевская К. Н.	116
Бородай Е. В.	116	Новокшанова А. Л.	49
Босов К. К.	186	Новокшанова А.Л.	7
Бычкова Т. С.	86	Оксененко О. В.	49
Вайтанис М. А.	73	Охлопкова А. А.	213
Валиев В. С.	181	Панченко И. А.	156
Васильев А. П.	213	Передерин Ю. В.	173
Васильева А. А.	222, 228	Пивоварова Е. В.	186
Верещагин А. Л.	126	Попов В. Г.	93
Винокуров П. В.	213	Путилов В. Э.	132
Власова К. В.	53	Серебреникова Е. С.	99
Воробьев М. С.	149	Сливин А. Н.	161
Габдрахманова Г. Н.	181	Смагин В. П.	196
Гергерт Е. О.	99	Соловьев А. О.	66
Голых Р. Н.	161	Спиридонов А. М.	213
Гришкова А. В.	111	Станкевич С. В.	116
Грязнов А. Е.	79	Стецов Я. Г.	106
Гузид Д. Ю.	99	Стурова Ю. Г.	111
Гуляшинов П. А.	149	Суханов Г. Т.	186
Гунина Ю. С.	29	Суханова А. Г.	186
Демиденко Н. Ю.	208	Сухарев К. Б.	49
Донская Г. А.	86	Тарнопольская В. В.	208
Дриль А. А.	35	Творогова А. А.	12
Дробышев В. К.	156	Тригуб В. В.	93
Дьяконов А. А.	213	Троско Е. С.	29
Егорова Е. Ю.	79	Туисов А. Г.	213, 228
Еременко О. Н.	208	Тунакова Ю. А.	181
Еремин Е. Н.	202	Туршатов М. В.	66
Ермош Л. Г.	44	Угарова И. М.	167
Затонская Л. В.	196	Улаханов Н. С.	149
Иванов В. В.	66	Усольцева И. О.	173
Иванова Л. А.	167	Ущиповский В. И.	21
Коваль А. Д.	111	Фадеев К. А.	44
Колобов С. В.	61	Филиппова Ю. В.	186
Кольман О. Я.	44	Харнурова Е. П.	196
Коновалов С. В.	156	Ходырева З. Р.	73
Кочнева С. Е.	12	Цыганок С. Н.	106
Крупнова И. А.	186	Чащилов Д. В.	139
Кузьмина С. С.	106	Шариков А. Ю.	66
Кукушина К. Г.	202	Шарова Н. Ю.	132
Кычкин А. А.	222	Щетинина Е. М.	49
Кычкин А. К.	213, 222	Юрова Е. А.	86
Лабунский Д. Н.	156	Ягудина Г. З.	208
Лазарева Н. Н.	213	Яковлева А. А.	21
Ландиховская А. В.	12		

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья объемом 5 страниц (по согласованию с редакцией, допускаются статьи объемом от 3 до 10 страниц), имеющая индекс УДК, аннотацию и ключевые слова на русском языке, перевод метаданных статьи на английский язык, сведения об авторах (учёной степени, звания и места работы, e-mail и идентификаторе ORCID).

Работы принимаются в текстовом редакторе Microsoft Word.

Во вкладке «Разметка страницы»: используется *размер бумаги формата А4, ориентация листа книжная. Поля: верхнее – 3,5 см; нижнее – 2,5 см; левое – 2,5 см; правое – 2,5 см; переплет – 0 см*; В диалоге «Колонки» – «Другие колонки» выбирается расположение текста в «две» колонки, устанавливается *ширина колонок – 7,65 см, промежуток между ними – 0,7 см*. В диалоге «Расстановка переносов» выбирается «авто».

Во вкладке «Вставка» выбирается «Верхний колонтитул» – «Пустой», далее появляется вкладка «Конструктор», включаются «Особый колонтитул для первой страницы» и «Разные колонтитулы для четных и нечетных страниц». Колонтитулы от края: *верхний – 2,0 см; нижний – 2,0 см*.

**Структура статьи в обязательном порядке должна содержать:**

- Тип статьи (научная статья, обзорная статья), научная специальность, индекс УДК и doi (размещение в левом верхнем углу документа, каждая запись на отдельной строке, без точек).

- Названия статей набираются прописными буквами (шрифт «Arial», размер шрифта текста – 14 пунктов, полужирный) по центру документа.

- Имена, отчества и фамилии авторов размещаются под названием статьи (шрифт «Arial», размер шрифта текста – 12 пунктов), над фамилией ставят надстрочную цифру, по порядку, ниже все надстрочные цифры расшифровываются (сведения о месте работы, город, страна, адрес электронной почты и идентификатор ORCID авторов).

- Аннотацию формируют по ГОСТ Р 7.0.99. Объем аннотации от 150 до 250 слов. Перед аннотацией приводят слово «Аннотация» («Abstract»). Шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный». Аннотация должна быть информативной (не содержать общих слов), оригинальной, отражать основное содержание статьи и результаты исследования (обоснование, предмет, цель работы, метод или методологию проведения работы, область применения результатов, выводы).

- Перед ключевыми словами приводят слово «Ключевые слова» («Keywords») Количество ключевых слов или словосочетаний от 10 до 15. (шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

- После ключевых слов могут быть приведены слова благодарности организациям, учреждениям, руководителям, могут быть приведены сведения о проектах, научно-исследовательских работах, финансировании и т.п. Эти сведения приводят с предшествующим словом «Благодарности» («Acknowledgements») (шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

- Далее отделяют чертой строку и ниже пишут «Для цитирования» («For citation»), после вставляют библиографическую запись на статью для дальнейшего цитирования (составляют по ГОСТ Р.7.0.5-2008). После записи отделить чертой данный текст.

- После записи всех метаданных статьи на русском языке необходимо привести все метаданные на английском языке (отчества сокращают до буквы в английском языке).

- Основной текст (для основной части текста используется шрифт «Arial», размер шрифта основного текста – 10 пунктов, красная строка (отступ) – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

Структура основного текста статьи:

- 1) **Введение** – в этом разделе описывается существующая научная проблема и представляется краткий литературный обзор по состоянию обозначенной проблемы.

- 2) **Методы / методология / методика исследований** – приводится теория или методика экспериментального исследования, приводится обоснование выбора данного материала и методов исследования.

- 3) **Результаты и их обсуждение** – раздел содержит краткое описание полученных теоретических или экспериментальных результатов. Результаты рекомендуется излагать в прошедшем времени. В обсуждении рекомендуется объяснить значимость вашего исследования. Показать, какие знания были получены результате исследования, обозначить их перспективы и сравнить их с существующим положением в данной области, описанным в разделе «Введение». Данные должны быть систематизированы и иметь логическую связь с текстом.

- 4) **Выводы** – этот раздел рекомендуется начать с нескольких фраз, подводящих итог проделанной работе, а затем в виде списка представляются основные выводы.

- 5) **Список литературы** (шрифт «Arial», размер – 9 пунктов) – не менее 10 позиций, оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

- Сведения об авторах приводится после списка литературы, с предшествующими словами «Информация об авторах» - инициалы, фамилия — учёная степень, звание, место работы, телефон);



## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

- После приводят список литературы на латинице (REFERENCES) согласно стилю APA (American Psychological Association - <https://apastyle.apa.org>). Нумерация записей в дополнительном перечне должна совпадать с нумерацией записей в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

- Ниже приводятся сведения об авторах на английском языке после слов «Information about the authors».

- В конце статьи авторы должны указать об отсутствии или наличии конфликта интересов.

Для создания формул и таблиц используются встроенные возможности Microsoft Word. Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Microsoft Word или другими программами и вставляются в нужное место документа, название таблиц и рисунков дублируются на английском языке.

Размеры рисунков не должны превышать границы полей страницы основного текста документа с учетом подрисуночной подписи. Рисунки издательством не редактируются. Если рисунок по ширине превышает размер колонки, то необходимо ставить перед ним и после него разрыв раздела на текущей странице и располагать рисунок в начале или в конце страницы.

Рисунки, надписи и объекты Microsoft Word должны перемещаться вместе с текстом, т.е. быть не поверх текста.

Шаблон для оформления статьи можно скачать на сайте журнала: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest>.

К статье необходимо предоставлять следующие документы: **экспертное заключение, согласие каждого автора на размещение статьи, согласие на обработку персональных данных.**

К публикации принимаются статьи, **ранее нигде не опубликованные** и не представленные к печати в других изданиях. Статьи, отбираемые для публикации в журнале, проходят двухстороннее слепое рецензирование. Автор статьи имеет право предложить двух рецензентов по научному направлению своего исследования.

Публикации в журнал принимаются на русском и английском языках.

Электронная версия публикации должна быть отправлена в формате текстового редактора Microsoft Word (расширения .doc, .docx) по электронной почте по адресу [polz\\_journal@mail.ru](mailto:polz_journal@mail.ru). Название файла формируется из фамилии и инициалов первого автора (к примеру, «ИвановАА.doc»). Если статей несколько, то к названию файла через знак подчеркивания добавляется порядковый номер (к примеру, «ИвановАА\_1.doc»).

**Все статьи будут проверены в системе «Антиплагиат», при оригинальности менее 75 % статьи будут возвращены авторам.**

### Контактная информация:

Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, д. 46, 119 ГК, почтовый индекс: 656038.

Стопорева Татьяна Александровна – тел.: 8 (3852) 290946, e-mail: [polz\\_journal@mail.ru](mailto:polz_journal@mail.ru).

Подписано в печать 20.12.2024. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.

Усл. п. л. 27,67 Тираж 100 экз. Заказ 2024 – 45.

Отпечатано в типографии АлтГТУ им. И. И. Ползунова

Адрес типографии: 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина 46

**АлтГТУ им. И.И. Ползунова**  
**656038 г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, каб. 119 главного корпуса**  
**тел. +7 (3852) 29-09-46**  
**сайт: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest/>**  
**e-mail: [polz\\_journal@mail.ru](mailto:polz_journal@mail.ru)**  
**Дизайн обложки: Р.С. Жуковский, доцент кафедры ТИАрх**