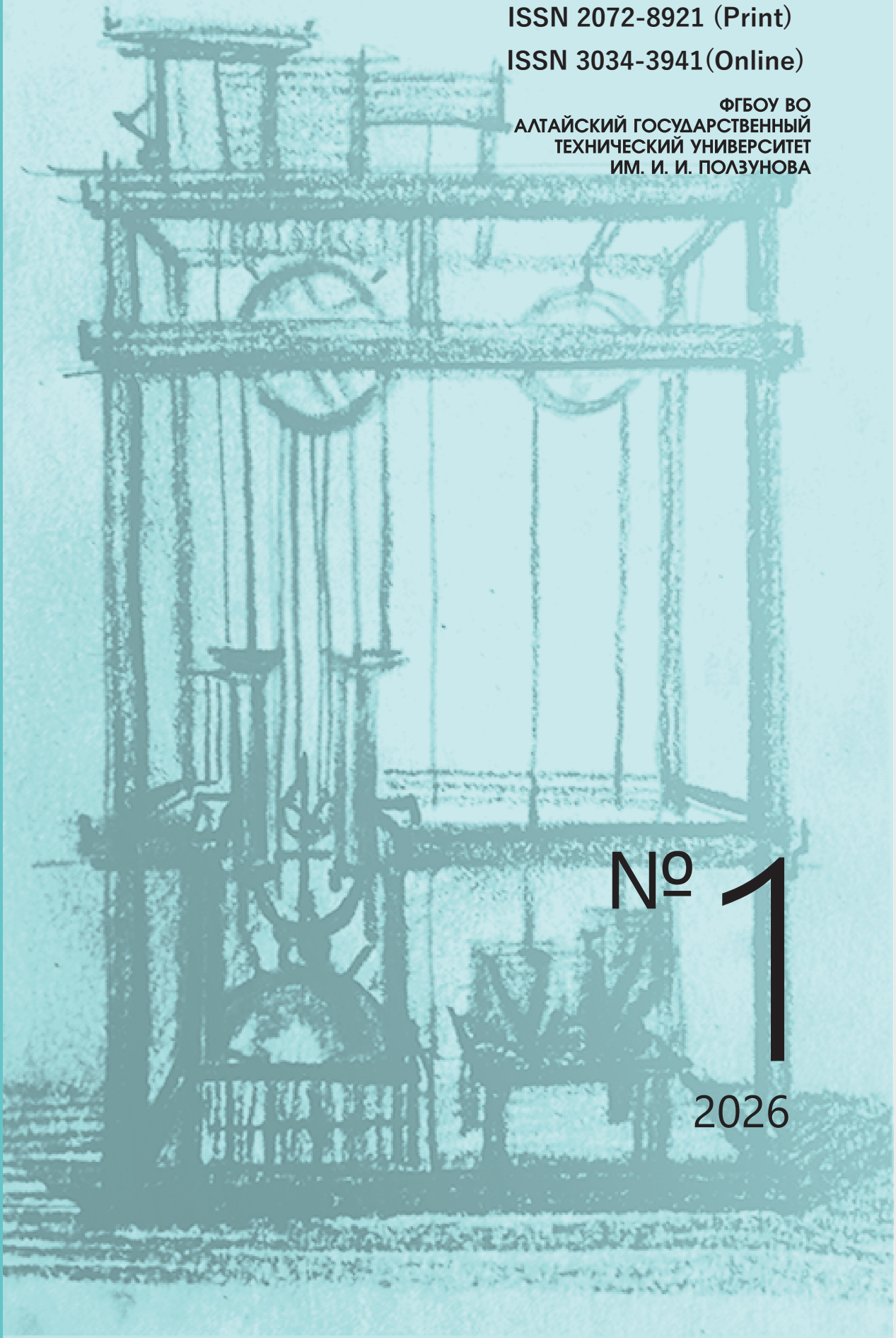


ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

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

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



№ 1
2026

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

№ 1 2026 г.

Научный журнал
входит в перечень ВАК (К1), RSCI (ядро РИНЦ), Белый список (2)

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., заведующий кафедрой «Оборудование и технологии сварочного производства», Московский политехнический университет (Московский Политех) (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)
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 24.04.2026 г.
Цена 800 рублей.

CC BY

Polzunovskiy VESTNIK

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

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

Publication frequency: quarterly

№ 1 2026 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, Egyp
Raimond Besson, professor, Besancon, France
Timur Deberdev, Doctor of Technical Sciences, KNRTU, Kazan, Russia
Sergey Iliyasov, 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, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia
Vladimir Bataev, Doctor of Technical Sciences, NSTU, Novosibirsk, Russia
Sergei Konovalov, Doctor of Technical Sciences, Siberian state Industrial University, Novokuznetsk, 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
Galina Gurinovich, Doctor of Technical Sciences, professor, KemSU, Kemerovo, Russia
Elena Anan’eva, 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 24.04.2026

CC BY

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

А. С. Захарова, С. И. Конева
Научно-экспериментальная модификация рецептурного состава галет 7

Е. П. Караулова, М. Б. Клипак, Т. Н. Слуцкая
Обоснование технологии обогащенных хлебобулочных изделий с применением вторичного сырья морского происхождения.....12

С. А. Донова, Н. К. Шелковская
Создание новых винных напитков по типу портвейн, обогащенных биологически активными веществами ягодных виноматериалов.....20

Диомед Нзейимана, Н. А. Бугаец, А. И. Макарова
Анализ характеристик потребителей на продовольственном рынке республики Бурунди 25

А. В. Анисимов, Н. Л. Моргунова, О. С. Фоменко, Н. А. Семилет, А.С. Кизиёва
Методология оптимизации технологических параметров 3d печати пищевых систем 32

Л. А. Забодалова, В. С. Ильина
Потенциал применения арахидоновой кислоты и пробиотических штаммов микроорганизмов в составе функциональных пищевых продуктов для профилактики сахарного диабета второго типа 39

А. Л. Новокшанова
Температурно-временные параметры растворения казеината натрия.....49

Т. А. Мухамедов, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова
Нутритивная адекватность и соответствие физиологическим нормам конины сухого и влаж-ного созревания 53

О. Н. Мусина, Д. А.Усатюк
Бетулин в технологии мягких ремесленных сыров.....58

Г. Е. Кокиева, Ю. А. Шапошников, В. С. Трофимова
Исследование оборудования микробного синтеза 64

В. Н. Гетманец
Целесообразность использование куриных субпродуктов в производстве рубленых полуфабрикатов 68

И. А. Гурский
Совместное влияние обезжиренного сухого молока, концентрата сывороточного белка и микропартикулята сывороточного белка на качество мороженого.....73

Э. Б. Битуева, Т. П. Анцупова, Л. И.Гонгорова, Е. П. Павлова
Исследование свойств растительных экстрактов.....79

Д. Е. Колпакова., Ю. Р. Сераэтдинова, И. И. Плешивцев, Л. К. Асякина
Оценка влияния конопляной муки на качество ржаного хлеба на закваске.....85

В. Ф. Жукова, Т. В. Карман, М. В. Адонина, К. А. Вакасова
Разработка технологии производства пряных цукатов из вишни и черешни.....92

Н. И. Степаненко, А. Г. Липшин
Исследование стабильности производства овса для оценки потенциала использования в разработке диетических продуктов питания 101

А. А. Рядинская, С. А. Чуев, Е. П. Еременко, А. А. Дубровский
Разработка рецептурной композиции безглютеновых мягких вафель с добавлением местных овощей 114

В. Г. Симонова
Анализ влияния содержания кальция, цезия, стронция пищевых продуктов на организм человека 121

А. В. Жебо
Биологическая ценность экстрактов некоторых плодов рода crataegus, произрастающих в Хабаровском крае.....127

И. Ю. Резниченко, Т. А. Мирошина
Разработка и оценка качественных характеристик бисквитного пирожного без сахара 135

И. И. Медведкова, С. А. Соколов, А. А.Яшонков
Технологическая подготовка грибного наполнителя для овощных и рыбных супов высокой степени кулинарной готовности.....141

Д. А. Алесенко, В. В. Матюшев, И. А. Чаплыгина, А. А. Беляков
Оптимизация конструктивно-режимных параметров установки для охлаждения экструдата 147

О. В. Чугунова, Д. И. Девяткин, П. С. Бикбулатов, Н. В. Заворохина
Получение биоактивных пептидов из вторичных сырьевых ресурсов методом ферментации 152

Ю. В. Живлянцева, Л. К. Куранова, М. А. Ершов
Использование рыбного белкового гидролизата в составе питательных сред для выделения энтеробактерий 158

И. В. Бондарь, Н. А. Величко, О. В. Стутко
Разработка параметров экстракции гуминовых кислот из леонардита для их использования в составе сбитней 162

Кох Д. А., Кох Ж.А.
Совершенствование технологии получения зефира путем использования гомогенной пасты, произведенной из плодов мелкоплодных яблонь 167

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Ш. Х. Нгуен, С. А. Гаврилов, М. А. Гурьев, С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, Е. А. Письменный

Оптимизация параметров термической обработки стали 110Г13Х2БРЛ методами планирования эксперимента.....172

Ю. В. Шерина, А. Р. Луц

Сравнение трибологических характеристик композиционных материалов и сплавов триботехнического назначения…….177

Е. А. Топтунов, Ю. В. Севастьянова, А. В. Малков

Особенности переработки волокнистых полуфабрикатов для получения порошковых целлюлозных материалов.....212

А. И. Мошинский, Л. Н Рубцова, Е. О. Цветкова

Исследование периода колебаний в модели Лотка-Вольтерра…….....190

И. А. Маняхин, Р. Н. Голых, Е. А. Морозова, В. А. Дегтярев, К. М. Обрезков

Растворение углекислого газа в воде с применением ультразвуковых колебаний.....195

О. С. Дмитриева, А. В. Дмитриев, Г. Р. Бадретдинова, А. А. Валеев

Прогнозирование эффективности фракционирования частиц мультивихревым классификатором с помощью программной среды Python на основе CFD-моделирования.....200

В. О. Стрельникова, Ю. А. Таран, В. М. Фуфаева

Исследование качественных показателей двухслойных удобрений с наполнителем и защитной оболочкой.....207

Л. А. Виниченко, Т. В. Луковникова,О. М. Горелова

Исследования по использованию бальнеологических и биологических ресурсов Камчатского края в производстве косметики.....214

Р. В. Барсуков, А. Р. Барсуков, А. Н. Сливин, В. А. Шакура

Система контроля импедансных характеристик ультразвуковых излучателей в процессе сварки термопластичных полимерных материалов……...220

М. М. Копырин, М. Г. Петров, О. В. Старцев, М. П. Лебедев

Экспериментальная оценка прочности углепластика после воздействия отрицательных температур.....224

А. А. Ситников, А. В. Собачкин, М. В. Логинова, В. Ю. Филимонов, В. И. Яковлев, А. Ю. Мясников, А. А. Попова, Ю. Н. Камышов, А. В. Собачкин

Особенности механоактивированного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в порошковой смеси системы Ti–Al–C 232

Е. Г. Сакошев, А. Н. Блазнов, Н. В. Бычин

Исследование механизмов разрушения композитных изделий после воздействия химически агрессивных сред 236

В. Е. Рогов, Л. А. Бохоева, О. Ж. Аюрова, А. С.Чермошенцева

Поведение частиц диоксида свинца во фторопластовой матрице при термообработке 240

С. Л. Леонов, А. М. Иконников, Д. Е. Соломин, Н. А. Иконников

Анализ образцов из материала Д16Т после магнитно-абразивной обработки 244

Д. А. Негров, В. Ю. Путинцев, Е. В. Князев, А. И. Глотов, Д. А. Вебер

Влияние химической функционализации углеродных нанотрубок на структуру и механические свойства полимерного композиционного материала 250

Д. Т. Сафаров, В. И. Астащенко, Г. Ф. Мухаметзянова, Т. В. Соченко

Методика производственных испытаний листопроката из высокопрочных мелкозернистых сталей на трещиностойкость……..257

Д. К. Низамова, Г. Р. Рахматуллина, Е. А.Панкова, , Р. Р. Шагивалиева, Г. И. Гарипова, М. М. Гребенщикова

Переработка коллагенсодержащего сырья с применением биокаталитических методов 265

А. Л. Терешкин, А. А. Габышев, А. А. Гаврильева, И. Г. Лукачевская

Исследование количества суточных и сезонных термоциклов на поверхностях ПКМ в условиях холодного климата…….....….270

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 275

CONTENTS

SECTION 1. FOOD TECHNOLOGY

A. S. Zakharova, S. I. Koneva
Scientific and experimental modification of biscuits recipe 7

E. P. Karaulova, M. B. Klipak, T. N. Slutskaya
Substantiation of technology enriched bakeryproducts using processed marine raw materials 12

S. A. Donova, N. K. Shelkovskaya
Creation of new port-style wine drinks enriched with biologically active substances of berry winematerials 20

Diomed Nzeimana, N. A. Bugayets, A. I. Makarova
Analysis of consumer characteristics in food market republic of Burundi....25

A. V. Anisimov, N. L. Morgunova, O. S. Fomenko, N. A. Semilet, A. S. Kizieva
Methodology for optimizing technological parameters of 3d printing of food systems 32

L. A. Zabodalova, V. S. Ilina
Potential use of arachidonic acid and probiotic strains microorganisms in functional food products for prevention type 2 diabetes mellitus 39

A. L. Novokshanova
Temperature-time parameters of sodium caseinate dissolution 49

T. A. Mukhamedov, S. L. Tikhonov, N. V.Tikhonova
Nutritional adequacy and compliance with physio-logical standards of dry- and wet-aged horse meat 53

O. N. Musina, D. A. Usatiuk
Betulin in technology of soft artisanal cheeses 58

G. E. Kokieva, Yu. A. Shaposhnikov, V. S. Trofimova
Research on microbial synthesis equipment...64

V. N. Getmanets
Feasibility of using chicken byproducts in the production of chopped semi-finished products 68

I. A. Gurskiy
Combined effect of nonfat dry milk, whey protein concentrate and whey protein microparticles on ice cream quality 73

E. B. Bitueva, T. P. Antsupova, L. I. Gongorova, E. P. Pavlova
Research of properties of plants extracts...79

D. E. Kolpakova, Yu. R. Serazetdinova, I. I. Pleshivtsev, T. V. Tamarzina, L. K. Asyakina
Evaluation of effect of hemp flour on quality of sourdough rye bread 85

V. F. Zhukova, T. V. Karman, M. N. Adonina, K. A.Vakasova
Development of technology for production of spicy candied fruits from cherries and sweet cherries 92

N. I. Stepanenko, A. G. Lipshin
Study of stability of oat production to assess potential for use in development of dietary foods 101

A. A. Ryadinskaya, S. A. Chuev, E. P. Eremenko, A. A. Dubrovsky
Development of a recipe for gluten-free soft waffles with local vegetables....114

V. G. Simonova
Analysis of influence of calcium, cesium, strontium content of food products on human body....121

A. V. Zhebo
Biological value of extracts of some fruits of genus Crataegus growing in Khabarovsk krai...127

I. Yu. Reznichenko, T. A. Miroshina
Development and evaluation of quality characteristics of sugar-free sponge cake 135

I. I. Medvedkova, S. A. Sokolov, A. A. Yashonkov
Technological preparation of mushroom filling for vegetable and fish soups of high degree of culinary readiness 141

D. A. Alesenko, V. V. Matyshev, I. A. Chaplygina, A. A. Belyakov
Optimization of design and operating parameters for extrudate cooling system 147

O. V. Chugunova, D. I. Devyatkin, P. S. Bikbulatov, N. V. Zavorokhina
Production of bioactive peptides from secondary raw materials by fermentation 152

I. V. Zhivlyantseva, L. K. Kuranova, M. A. Ershov
Use of protein hydrolysate from fish waste as part of microbiological culture media for to isolate enterobacteria....158

I. V. Bondar', N. A. Velichko, O. V. Stutko
Development of parameters for extraction of humic acids from leonardite for their use in composition of sbitney 162

D. A. Kokh, Zh. A.Kokh
Improvement of technology for obtaining marshmallow through use of homogeneous paste made from small-fruited apples 167

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGIES, MATERIALS SCIENCES, METALLURGY

Sh. H. Nguyen, S. A. Gavrilov, M. A. Guryev, S. G Ivanov., A. M. Guryev, E. A.Pysmennyi
Optimization of heat-treatment parameters of 110G13KH2BRL steel using design experiments methods 172

Yu. V. Sherina, A. R. Luts
Comprasion of tribological characteristics of composite materials amd alloys for tribotechnical purpose……177

E. A. Toptunov, Y. V. Sevastyanova, A. V. Malkov
Features of processing fibrous semi-finished products to produce powdered cellulose materials.....212

A. I. Moshinskiy, L. N. Rubtsova, E. O. Tsvetcova
Study of oscillation period in Lotka-Volterra model……..…….....190

I. A. Manyakhin, R. N. Golykh, E. A. Morozova, V. A. Degtyarev, K. M. Obrezkov
Dissolution of carbon dioxide in water using ultrasonic oscillations.....195

O. S. Dmitrieva, A. V. Dmitriev, G. R. Badretdinova, A. A. Valeev
Forecasting the efficiency of particle fractionation by a multi-vortex classifier using a Python software environment based on CFD-modeling 200

V. O. Strelnikova, Yu. A. Taran, V. M. Fufaeva
Investigation of the quality indicators of two-layer fertilizers with a filler and a protective coating.....207

L. A. Vinichenko, T. V. Lukovnikova, O. M. Gorelova
Research on use of balneological and biological resources of Kamchatka region in production of cosmetics.....214

R. V. Barsukov, A. R. Barsukov, A. N. Slivin, V. A. Shakura
System for monitoring ultrasonic emitters impedance characteristics in welding thermoplastic polymeric materials process…….220

M. M. Kopyrin, M. G. Petrov, O. V. Startsev, M. P., Lebedev
Experimental evaluation of carbon fiber composite strength after exposure to subzero temperatures 224

A. A. Sitnikov, A. V. Sobachkin, M. V. Loginova, V. Yu. Filimonov, V. I. Yakovlev, A. Yu. Myasnikov, A. A. Popova, Yu. N Kamyshov, A. V. Sobachkin
Features of mechanically activated self-propagating hightemperature synthesis in a powder mixture of the Ti-Al-C system. 232

E. G. Sakoshev, A. N. Blaznov, N. V. Bychin
Investigation of mechanisms of destruction of composite materials after exposure to chemically aggressive media 236

V. E., Rogov, L. A. Bokhoeva, O. Z. Ayurova, A. C. Chermoshentseva
Behavior of lead dioxide particles in a fluoroplastic matrix during heat treatment..... 240

S. L. Leonov, A. M. Ikonnikov, D. E. Solomin, N. A. Ikonnikov
Analysis of samples from d16t material after magnetic abrasive treatment.....244

D. A. Negrov, V. Yu. Putintsev, E. V. Knyazev, A.Ig. Glotov, D. A. Veber
Influence of chemical functionalization of carbon nanotubes on the structure and mechanical properties of polymer composite material.....250

D. T. Safarov, V. I. Astashchenko, G. F. Mukhametzyanova, T. V. Sochenko
Method of production testing of sheet metal from high-strength fine-grained steels for crack resistance……..…..257

D. K. Nizamova, G. R. Rakhmatullina, E. A. Pankova, R. R. Shagivalieva, G. I. Garipova, M. M. Grebenshchikova
Processing of collagen-containing raw materials using biocatalytic methods 265

A. L. Tereshkin, A. A. Gabyhev, A. A. Gavrileva, I. G. Lukachevskaya
Investigation of number of daily and seasonal thermocycles on pcm surfaces in cold climate conditions…….....……270

AUTHOR'S INDEX 275

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 7–11.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 7–11.

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.001 EDN: JPZPLN

НАУЧНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ РЕЦЕПТУРНОГО СОСТАВА ГАЛЕТ

Александра Сергеевна Захарова [1], Светлана Ивановна Конева [2],

[1, 2] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

[1] zakharovatpz@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7571-0950
[2] skoneva22@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6727-5979

Аннотация. *Научно-экспериментальная модификация рецептурного состава галет – это важная часть исследований, посвященных нутрициологической поддержке населения, находящегося под воздействием экстремальных факторов Арктической зоны, что подтверждает актуальность представленных результатов. В качестве источников эссенциальных компонентов для модификации рецептурного состава галет были выбраны перга пчелиная, псиллиум и порошок из ягод клюквы. Перга пчелиная и порошок клюквы - ценные источники витаминов, микро- и макроэлементов, биологически активных веществ. Псиллиум - признанный источник пищевых волокон. Изучение совместного влияния перги пчелиной, псиллиума, порошка клюквы на показатели качества галет осуществлялось путем реализации полного трехфакторного эксперимента ПФЭ 2^3. Совместное решение полученных уравнений позволило установить, что оптимальными дозировками указанных компонентов при внесении 4,5 % псиллиума являются: количество перги пчелиной от 3,2 % до 4,2 %, количество порошка клюквы от 3,5 % до 3,7 %. При этом, теоретические значения величин, характеризующие качество галет, составляют: намокаемость - 133 %, кислотность – 2,5 град, влажность – 8,0 %. Изучение совместного влияния перги пчелиной, псиллиума, порошка клюквы на показатели качества галет показало, что использование перги пчелиной в количестве 3,8 %, псиллиума- 4,5 %, порошка клюквы - 3,6 % взамен части муки пшеничной в рецептуре галет позволяет получить изделия с органолептическими и физико-химическими показателями качества, соответствующими требованиям ГОСТ 14032-2017 «Галеты. Общие технические условия». Так, массовая доля влаги составляла 8,2 %, что в пределах установленных стандартом нормы (не более 11,0 %), кислотность галет – 2,0 град, массовая доля золы, не растворимой в 10 % - ном растворе соляной кислоты, – 0,1 %, намокаемость – 134,0 %.*

Ключевые слова: *модификация, галеты, многокомпонентные смеси, псиллиум, перга пчелиная, порошок клюквы, полный трехфакторный эксперимент, коррекция пищевого статуса, массовая доля влаги, кислотность, намокаемость.*

Благодарности: *Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (№ 075-03-2024-105, номер темы FZMM-2024-0003, рег. № НИОКТР 124013000666-5).*

Для цитирования: Захарова А. С., Конева С. И. Научно-экспериментальная модификация рецептурного состава галет // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 7–11. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.001. EDN: https://elibrary.ru/JPZPLN.

Original article

SCIENTIFIC AND EXPERIMENTAL MODIFICATION OF BISCUITS RECIPE

Alexandra S. Zakharova [1], Svetlana I. Koneva [2]

[1, 2] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[1] zakharovatpz@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7571-0950
[2] skoneva22@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6727-5979

Abstract. *The scientific and experimental modification of the biscuit recipe is an important part of research devoted to nutritional support for the population exposed to extreme factors in the Arctic zone, which confirms the relevance of the presented results. Bee bread, psyllium and cranberry powder were chosen as sources of essential components for*

©Захарова А. С., Конева С. И., 2026

modifying the recipe composition of the biscuits. Bee pollen and cranberry powder are valuable sources of vitamins, micro- and macroelements, and biologically active substances. Psyllium is a recognized source of dietary fiber. The study of the combined effect of bee bread, psyllium, and cranberry powder on the quality indicators of biscuits was carried out by implementing a complete three-factor experiment PFE 2^3.The joint solution of the obtained equations allowed us to establish that the optimal dosages of these components when applying 4,5 % psyllium are: the amount of bee parchment from 3,2 % to 4,2 %, the amount of cranberry powder from 3,5 % to 3,7 %. At the same time, the theoretical values of the quantities characterizing the quality of the biscuits are as follows: wettability is 133 %, acidity is 2,5 degrees, and humidity is 8,0 %. The study of the combined effect of bee pollen, psyllium, and cranberry powder on the quality indicators of biscuits showed that the use of bee pollen in an amount of 3,8 %, psyllium in an amount of 4,5 %, and cranberry powder in an amount of 3,6 % instead of part of the flour in the biscuit recipe allows for the production of products with organoleptic and physical and chemical quality indicators that meet the requirements of GOST 14032-2017 «Biscuits. General Technical Conditions». The mass fraction of moisture was 8,2 %, which is within the standard limit (no more than 11,0 %), the acidity of the biscuits was 2,0 degrees, the mass fraction of ash that was insoluble in a 10 % solution of hydrochloric acid was 0,1 %, and the moisture content was 134,0 %.

Keywords: *modification, biscuits, multi-component mixtures, psyllium, bee pollen, cranberry powder, full three-factor experiment, nutritional status correction, moisture content, acidity, and wettability.*

Acknowledgements*:*. This work was supported by the project № 075-03-2024-105, FZMM-2024-0003, 124013000666-5 from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Zakharova A.S.& Koneva S.I. (2026). Scientific and experimental modification of the biscuits recipe. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 7-11. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.001. EDN: https: //elibrary.ru/ JPZPLN.

ВВЕДЕНИЕ

Научно-экспериментальная модификация рецептурного состава галет – важная часть исследований, посвященных нутрициологической поддержке населения, находящегося под воздействием экстремальных факторов Арктической зоны, выполняемых по госзаданию Минобрнауки РФ Алтайским государственным техническим университетом имени И.И. Ползунова.

Легкие, компактные, имеющие длительный срок хранения, галеты являются практически идеальным объектом для обогащения дополнительным количеством эссенциальных веществ для коррекции пищевого статуса населения. Не случайно галеты часто используют как сухой паек в походах и экспедициях. Сегодня интерес к данной группе мучных товаров растет, отечественные специалисты, работающие в сфере разработки специализированного и функционального питания, активно используют галеты в качестве основы для своих исследований.

В настоящее время разработаны галеты для питания спортсменов и людей с повышенными физическими нагрузками, для больных целиакией и аллергией на куриный белок, для геродиетического питания [1-5].

Известны работы, посвященные возможности обогащения галет пищевыми волокнами, полученными из створок зеленого горошка, соевым белковым продуктом, папоротниковой пастой, овощными порошками из тыквы и моркови, кедровой мукой, ржаной и цельнозерновой овсяной мукой [6-9, 10, 11]. В технологии галет используют биологически активные вещества, полученные из голотурий, полуфабрикаты из растительного сырья Pteridium aquilinum, пектиновый концентрат, цельносмолотую гречневую, кукурузную и овощную муку, композиции из частично обезжиренной муки зародышей пшеницы «Витазар» и отрубей пшеничных, с дополнительным введением порошка из морской капусты, изоляты соевого, горохового белка, частично обезжиренную муку семян черного тмина [12-16].

В целом, ученые, в первую очередь, стараются использовать в качестве источников микро и макронутриентов биологически ценное сырье растительного происхождения.

В наших исследованиях в качестве источников эссенциальных компонентов для повышения пищевой ценности галет были выбраны перга пчелиная, псиллиум и порошок из ягод клюквы. Выбор обогащающих добавок был обусловлен рядом факторов.

Перга пчелиная и порошок клюквы - ценные источники витаминов, микро- и макроэлементов, биологически активных веществ. Псиллиум - признанный источник пищевых волокон. Таким образом, их совместное использование при производстве галет будет способствовать коррекции пищевого статуса потребителя.

Измельченная перга пчелиная имеет золотисто-желтый цвет, приятный медовый вкус и аромат. Псиллиум не имеет выраженного вкуса и запаха, представляет собой порошок светло-бежевого цвета. Порошок клюквы насыщенного красного цвета, обладает ягодным вкусом и ароматом. Органолептические характеристики выбранных обогащающих добавок при производстве мучных кондитерских изделий являются традиционными и свойственными, так как апипродукты и ягоды всегда использовались в кондитерской промышленности, а псиллиум - максимально нейтрален.

Для кондитерской промышленности очень удобным является использование многокомпонентных мучных смесей, позволяющих снизить технологические потери и затраты, повысить эффективность работы предприятия. Сегодня на рынке представлен ассортимент данного вида сырья для производства кексов, печенья, бисквитов, пряников. Для производства галет ряд исследователей также предлагает использование мучных полуфабрикатов.

Целью наших исследований являлось изучение совместного влияния перги пчелиной, псиллиума и порошка клюквы в составе многокомпонентных мучных смесей на показатели качества галет.

МЕТОДЫ

Работа проводилась на базе Центра комплексных исследований и экспертной оценки пищевой продукции «АлтайБиоЛакт» Алтайского государственного технического университета имени И.И. Ползунова. Объектами исследований являлись: мучные многокомпонентные смеси, в состав которых входили мука пшеничная хлебопекарная первого сорта под торговым наименованием «Алейка» по ГОСТ 26574-2017 (далее мука пшеничная); псиллиум под торговым наименованием «Миофарм» по ТУ 10.89.19-066-47417078-2020 (далее псиллиум); перга пчелиная под торговым наименованием «Нектар Алтая» по ГОСТ Р 31776-2017, предварительно измельченная до крупно-

сти не более 200 мкм (далее перга пчелиная); клюква под торговым наименованием «Frombio» по СТО 00493534-039-2016, предварительно сублимированная и измельченная до крупности не более 200 мкм (далее порошок клюквы); опытные образцы галет.

Изучение совместного влияния перги пчелиной, псиллиума, порошка клюквы осуществлялось путем реализации полного трехфакторного эксперимента ПФЭ 2^3. Критериями оптимальности были выбраны: Y_1 – намокаемость, %; Y_2 – кислотность, град; Y_2 – влажность, %. Данные показатели качества определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 10114-80 «Изделия кондитерские мучные. Метод определения намокаемости»; ГОСТ 5898-2022 «Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности»; ГОСТ 5900-2014 «Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ».

Было изучено совместное влияние трех факторов, а именно: x_1 – содержание перги пчелиной, %; x_2 – содержание псиллиума, %; x_3 – содержание порошка клюквы, %. Перга пчелиная, псиллиум и клюква вносились в мучную многокомпонентную смесь взамен части муки пшеничной.

Уровни варьирования факторов были следующие: перга пчелиная от 2 до 6 %, псиллиум от 3 до 9 %, порошок клюквы от 1 до 7 %.

Дополнительно были изучены органолептические характеристики полученных галет, согласно ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей», была проведена дегустационная оценка качества полученной продукции по 30 балльной шкале.

Для обработки результатов полного факторного эксперимента ПФЭ 2^3 использовано композиционное ортогональное планирование. Статический анализ значимости коэффициентов регрессии проведен по критерию Фишера.

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали Microsoft Excel (Microsoft Corporation, США).

Галеты готовили по классической технологии, с использованием опарного способа тестоприготовления, с внесением химических разрыхлителей в тесто.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе изучения влияния перги пчелиной, псиллиума, порошка клюквы на качество галет были получены образцы с соотношением обогащающих добавок, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Соотношение обогащающих добавок в опытных образцах галет

Table 1 - The ratio of enriching additives in experimental samples of biscuits

Номер образца	Содержание обогащающей добавки, %		
	Перга пчелиная	Псиллиум	Порошок клюквы
1	2,0	3,0	1,0
2	2,0	9,0	1,0
3	6,0	3,0	1,0
4	6,0	9,0	1,0
5	2,0	3,0	7,0
6	2,0	9,0	7,0
7	6,0	3,0	7,0
8	6,0	9,0	7,0

Фотографии полученных образцов приведены на рисунке 1. Результаты балльной оценки в таблице 2.

Как видно из данных, приведенных в таблице 2, все полученные изделия имели высокую дегустационную оценку. Но наибольшее количество баллов получил образец номер 1, который имел минимальное количество перги пчелиной, псиллиума и порошка клюквы. Следует отметить, что образцы под номером 5-8 имели выраженный кислый привкус и более темный цвет с розовым оттенком поверхности.

Таблица 2 – Балльная оценка опытных образцов галет

Table 2 - Scoring of experimental samples of biscuits

Показатель	Номер образца / Балл							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Форма	5	5	5	5	5	5	5	5
Состояние поверхности	5	4	4	5	4	5	5	5
Цвет	5	5	5	5	4	4	4	4
Вкус	5	5	5	5	4	3	4	3
Запах	5	5	5	5	5	5	5	5
Вид в изломе	5	5	5	5	5	5	5	5
Итого	30	29	29	30	27	27	28	27

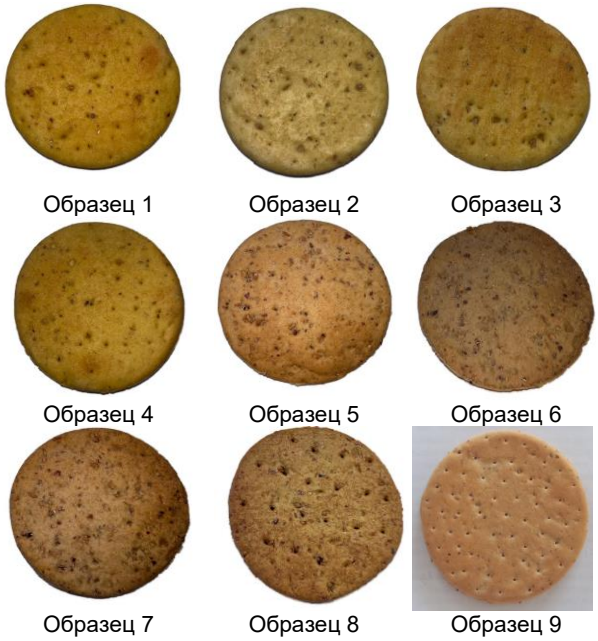


Рисунок 1 – Фотографии опытных образцов галет

Figure 1 - Photos of experimental samples of biscuits

В результате реализации полного факторного эксперимента по изучению совместного влияния перги пчелиной, псиллиума и порошка клюквы на намокаемость галет было получено следующее уравнение регрессии:

$$Y_1 = 135{,}06 - 2{,}81 \cdot x_1 - 2{,}69x_2 + 3{,}44 \cdot x_3 + 2{,}94 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1{,}06 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1{,}19 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1{,}31 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 (1)$$

После исключения незначимого коэффициента уравнение (1) приобрело вид:

$$Y_1 = 135{,}06 - 2{,}81 \cdot x_1 - 2{,}69x_2 + 3{,}44 \cdot x_3 + 2{,}94 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1{,}19 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1{,}31 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 (1)$$

Так как число значимых коэффициентов оказалось меньше числа опытов, то появилась необходимость статической проверки адекватности уравнения. Эта проверка осуществлялась по критерию Фишера:

дисперсия неадекватности $S^2(\text{ад}) = 7{,}902344$, $F = 4{,}1$, $F_т(0{,}95; 1; 8) = 5{,}3$, то есть $F < F_т$, следовательно, уравнение (1) адекватно описывает экспериментальные данные.

В ходе изучения влияния перги пчелиной, псиллиума и порошка клюквы на кислотность и массовую долю влаги галет были получены уравнения регрессии 2, 3.

$$Y_2 = 3{,}53 + 0{,}51 \cdot x_1 + 0{,}24 \cdot x_2 + 1{,}87 \cdot x_3 + 0{,}79 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0{,}41 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0{,}54 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0{,}14 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (2)$$

Оценка дисперсии воспроизводимости единичного результата изменения в каждом опыте: $S^2_{\text{yuk}} = 0{,}00406$. Средняя для всего эксперимента дисперсия воспроизводимости среднего значения выхода: $S^2(\ddot{y}) = 0{,}00051$. Доверительная ошибка коэффициентов уравнения рассчитывалась по критерию Стьюдента и составила $\varepsilon(b_i) = 0{,}0520551$.

Уравнение (2) адекватно описывает экспериментальные данные.

$$Y_3 = 6{,}41 + 1{,}2625 \cdot x_1 - 0{,}088 \cdot x_2 - 0{,}488 \cdot x_3 - 0{,}638 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0{,}888 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0{,}438 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0{,}363 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3)$$

Для уравнения (3) $S^2_{\text{yuk}} = 0{,}00750$, $S^2(\ddot{y}) = 0{,}000937$, $\varepsilon(b_i) = 0{,}070729$.

Уравнение 3 адекватно описывает экспериментальные данные.

Совместное решение полученных уравнений позволило установить, что оптимальными дозировками указанных компонентов при внесении 4,5% псиллиума являются: количество перги пчелиной от 3,2 % до 4,2 %, количество порошка клюквы от 3,5 % до 3,7 %. При этом, теоретические значения величин, характеризующие качество галет составляют: намокаемость - 133 %, кислотность – 2,5 град, массовая доля влаги – 8,0 %.

Для дальнейшего изучения были приготовлены галеты, согласно области оптимальных значений, содержащие в своем составе следующее количество обогащающих добавок: перга пчелиная - 3,8 %, псиллиум - 4,5 %, порошок клюквы - 3,6 %. Фотографии полученной продукции приведены на рисунке 1 (образец № 9). Физико-химические и органолептические показатели качества галет представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества галет

Table 3 - Physicochemical quality indicators of biscuits

Наименование показателя	Характеристика
Форма	Круглая, без поврежденных краев
Поверхность	Гладкая, со сквозными проколами, с вкраплением мелкодисперсных частиц клюквы
Цвет	Желтый с розовым оттенком
Вид в изломе	Слоистый, с равномерной пористостью и пропеченностью, без вздутий, закала, следов непромеса
Вкус и запах	Свойственный, с выраженным привкусом и запахом меда и клюквы
Массовая доля влаги, %	8,2±0,7
Кислотность, град	2,0±0,2
Массовая доля золы, нерастворимой в 10 %ном растворе соляной кислоты, %	0,1±0,1
Толщина, мм	10±0,5
Намокаемость, %	134±4,0

ОБСУЖДЕНИЕ

Использование перги пчелиной, псиллиума и порошка клюквы в изучаемых дозировках в составе многокомпонентных смесей для галет позволило установить выраженное влияние на органолептические показатели качества последних. Как видно из рисунка 1 и таблицы 2, повышенные дозировки порошка клюквы приводили к ухудшению потребительских достоинств продукта. Дегустаторы отмечали кислый вкус и неестественный ярко-розовый цвет галет в образцах № 5 – 8. Вероятно, это связано с пигментами и органическими кислотами порошка клюквы, который присутствовал в данных образцах в максимальной дозировке (7,0 %). Высокие дозировки перги пчелиной и псиллиума не оказывали столь заметного, негативного влияния на органолептические показатели качества галет.

Как видно, из рисунка 2 и данных таблицы 3 галеты, полученные на основе многокомпонентной мучной смеси, содержащей пергу пчелиную в количестве 3,8 %, псиллиум - 4,5 %, порошок клюквы - 3,6 % имели привлекательный внешний вид, с приятным легким розовым оттенком, свойственными данной группе продукции структурой, вкусом и запахом. Массовая доля влаги находилась в пределах установленных стандартом и не превышала 11,0 %, кислотность - 2,5 град, массовая доля золы, не растворимая в 10 %-ном растворе соляной кислоты, толщина галет также соответствовали требованиям стандарта и не превышали 0,1 %, 11 мм, соответственно, намокаемость была выше 130 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-экспериментальным путем обоснована целесообразность модификации рецептурного состава галет. Установлено оптимальное соотношение выбранных обогащающих добавок в составе многокомпонентных смесей для галет. Доказано, что использование перги пчелиной в количестве 3,8 %, псиллиума - 4,5 %, порошка клюквы - 3,6 % взамен части муки в рецептуре галет позволяет получить изделия с органолептическими и физико-химическими показателями качества соответствующими требованиям ГОСТ 14032-2017 «Галеты. Общие технические условия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка показателей качества мучных безглютеновых кондитерских изделий, предназначенных для диетического питания / Ходырева З.Р. [и др.] // Вопросы питания. 2025. Т. 94, № 2. С. 97-105. doi: 10.33029/0042-8833-2025-94-2-97-105/.

2. Величко Д.С., Дубцов Г.Г. Галеты, обогащенные микронутриентами, для питания спортсменов // Вопросы питания. 2015. Т. 84. № S3. С.17.

3. Разработка и исследование качественных характеристик галет специализированного назначения / Резниченко И.Ю. [и др.] // Аграрная наука. 2023. № 9. С. 179-184.

4. Ткач М.В. Специализированные галеты для лиц с аллергией на куриный белок, в том числе для геродиетического питания / под ред. Э.А. Пьяниковой // Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров.: материалы V Международной конференции в области товароведения и экспертизы товаров. 2017. С. 309-311.

5. Производство высокобелковых галет для людей с повышенными физическими нагрузками / Егорова С.В. [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82. № 4 (86). С. 95-101.

6. Созаева Д.Р. Разработка технологии производства галет, обогащенных пищевыми волокнами // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного универси-

тета им. В. М. Кокова. 2022. №4 (38). С. 122-129. doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-122-129.

7. Стаценко Е.С., Штарберг М.А., Бородин Е.А. Галеты повышенной пищевой ценности с соевым белковым продуктом // Техника и технология пищевых производств. 2023. №3. С.513-524. doi: 10.21603/2074-9414-2023-3-2454.

8. Мельникова Е. В. Оптимизация технологических параметров производства галет с папоротниковой пастой // Вестник КрасГАУ. 2015. №10. С.89-98.

9. Использование нетрадиционного растительного сырья в технологии бездрожжевых галет / Филина Д.К. [и др.] // Индустрия питания / Food Industry. 2024. №1. С. 26-33 doi: 10.29141/2500-1922-2024-9-1-3.

10. Карабаева М.Э., Колотова Н.А. Разработка и исследование качественных характеристик ржаных галет // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2025. № 3 (92). С. 80-85

11. Ларионов Г.А., Терентьева М.Г., Рындин Я.А Применение кедровой муки при производстве галет // Духовные основы отношений человек - природа: материалы Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции (с международным участием). Чебоксары, 2024. С. 127-131.

12. Функциональные продукты питания из дальневосточных голотурий / Позднякова Ю.М. [и др.] // Пищевая промышленность. 2017. №12. С.17-21.

13. Оценка минерального состава мучных изделий функционального назначения / Родионова Н.С [и др.] // Пищевая промышленность. 2019. № 12. С. 76-80.

14. Мельникова Е. В. Разработка теоретической модели совершенствования технологии получения хлеба, галет и сахарного печенья с использованием полуфабрикатов из орляка обыкновенного (Pteridium aquilinum) // Вестник КрасГАУ. 2016. № 2. С.106-112.

15. Разработка технологии галет с использованием пектинового концентрата и цельнозерновой муки из злаков / Жарилкасынова Ж.А. [и др.] // Вестник Алматинского технологического университета. 2024. № 2. С. 70-77.

16. Гуляева А.Н., Воронина М.С. Оптимизация рецептуры галет с добавлением экструдированной кукурузно-овощной муки // Рационы питания населения. Фудомика. Качество и безопасность пищевой и кулинарной продукции. Технологии сбережения здоровья: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Москва, 2025. С. 118-123.

Информация об авторах

А. С. Захарова – кандидат технических наук, ст. науч. сотр. ЦКИ «АлтайБиоЛакт» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

С. И. Конева – кандидат технических наук, ст. науч. сотр. ЦКИ «АлтайБиоЛакт», доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Khodyreva Z.R. & Vaitanis M.A. & Shchetinina E.M. & Vyun O.G. & Vrzhesinskaya O.A. (2025). Evaluation of the quality indicators of gluten-free flour confectionery products intended for dietary nutrition. Voprosy pitaniya. (No. 2, Vol. 94). 97-105. (In Russ.).doi: 10.33029/0042-8833-2025-94-2-97-105.

2.Velichko D.S. & Dubtsov G.G. (2015) Micro-nutrient-enriched biscuits for athletes' nutrition. Nutrition Issues.. (No. S3, Vol. 84), 17. (In Russ.).

3. Reznichenko I.Yu. & Egushova E.A. & Zakharenko M.A. (2023). Development and Research of the Qualitative Characteristics of Specialized Galettes. Agricultural Science. (No. 9). 179-184. (In Russ.).

4. Tkach M.V. Specialized biscuits for individuals with a chicken protein allergy, including for geriatric nutrition / ed. by E.A. Pyanikova // Problems of identification, quality and competitiveness of consumer goods.: materials of the V International Conference in the field of commodity science and goods examination. 2017. P. 309-311. (In Russ.).

5. Egorova S.V. & Slavyansky A. A. & Postnikova T. A. & Ustinova L. V. & Rostegaev R. S. (2020). Production of high-protein biscuits for people with increased physical activity. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. (No. 4 (86), Vol. 82). 95-101. (In Russ.).

6. Sozaeva D. R. (2022). Development of technology for the production of biscuits enriched with dietary fiber. Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov. (No. 4 (38)). 122-129. (In Russ.).
doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-122-129

7. Statsenko E.S. & Shtarberg M.A. & Borodin E.A. (2023). High-nutritional-value biscuits with soy protein product. Food Processing: Techniques and Technology. (No. 3). 513-524. (In Russ.). doi: 10.21603/2074-9414-2023-3-2454

8. Melnikova E. V. (2015). Optimization of technological parameters for the production of biscuits with fern paste. Vestnik KrasGAU. (No. 10), 89-98. (In Russ.).

9. Filina D.K. & Novikova Yu.D. & Akhmetzhanov I.A. & Nepovinnykh N.V. (2024). Use of non-traditional plant raw materials in the technology of yeast-free biscuits. Food Industry. (№1). 26-33. (In Russ.). doi: 10.29141/2500-1922-2024-9-1-3.

10. Karabaeva M.E. & Kolotova N.A. (2025). Development and research of the quality characteristics of rye biscuits. Technology and commodity science of innovative food products. (№ 3 (92)). 80-85. (In Russ.).

11. Larionov G.A. & Terentyeva M.G. & Ryndin Ya.A. Application of cedar flour in the production of biscuits // Spiritual foundations of human-nature relations: materials of the All-Russian (National) scientific and practical conference (with international participation). Cheboksary, 2024. P. 127-131. (In Russ.).

12. Pozdnyakova Yu.M. & Pivnenko T.N. & Pertseva A.D. & Kovalev N.N. (2017). Functional food products from Far Eastern holothurians. Food Industry. (No. 12). 17-21.(In Russ.).

13. Rodionova N.S & Popov E.S. & Matveev D. I. & Proshina M.N. & Dyakov A.A. (2019). Evaluation of the mineral composition of functional flour products. Food Industry. (No. 12). 76-80.(In Russ.).

14. Melnikova E. V. (2016). Development of a theoretical model for improving the technology of producing bread, biscuits, and sugar cookies using semi-finished products from the common bracken (Pteridium aquilinum). Vestnik KrasGAU. (No. 2). 106-112. (In Russ.).

15. Zharylkasynova Zh.A. & Iskakova G.K. & Baiysbayeva M.P. & Batyrbayeva N.B. (2024). Development of the technology of biscuits using pectin concentrate and whole grain flour from cereals. Bulletin of the Almaty Technological University. (No. 2). 70-77. (In Russ.).

16. Gulyaeva A.N., Voronina M.S. Optimization of the Recipe for Galettes with the Addition of Extruded Corn-Vegetable Flour // Population Nutrition Rations. Foodomics. Quality and Safety of Food and Culinary Products. Health-Saving Technologies: Collection of Scientific Papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with International Participation). Moscow, 2025. Pp. 118-123.

Information about the authors

A. S. Zakharova - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher AltaiBioLact Central Research Institute, Polzunov Altai State Technical University/

S. I. Koneva - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher AltaiBioLact Central Research Institute, Associate Professor 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 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 12–19.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 12–19.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.66.022.39
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.002 EDN: IFUWHY

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕННЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ МОРСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Екатерина Павловна Караулова [1], Марина Борисовна Клипак [2], Татьяна Ноевна Слуцкая [3]

[1, 3] Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Владивосток, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», Владивосток, Россия
[1] ekaterina.karaulova@tinro.vniro.ru ORCID 0000-0001-8508-9603
[2] marina.81928@gmail.com OCRID 0009-0008-0209-4262
[3] slutskaya@tinro.ru OCRID 0000-0002-3228-3047

Аннотация. *Традиционным способом обогащения хлебобулочных изделий является внесение компонентов растительного происхождения и продуктов их переработки. Однако в последнее время развиваются способы обогащения пищевой продукции с применением морского сырья, как правило – отходов его переработки. Обоснована перспективность и возможность использования ферментолизата коллагенсодержащего рыбного сырья в технологии хлебобулочных изделий. Установлено, что в ферментолизате, полученном из кожи минтая, содержание низкомолекулярных водорастворимых пептидов достигает 91 % от количества водорастворимого белка, что является основанием его использования в качестве функциональной добавки для обогащения пшеничного хлеба биологически активными веществами морского происхождения.*

Использование ферментолизата в количестве от 5 до 14 % к массе тестового полуфабриката (что составляет 15-35% от рецептурного количества воды) позволяет увеличить активность хлебопекарных дрожжей и сократить процесс брожения теста в 2 раза. Внесение ферментолизата в количестве до 35 % от расчетного количества воды при производстве пшеничного хлеба позволяет получить продукт с высокой органолептической оценкой и физико-химическими показателями, соответствующими требованиям нормативной документации. При этом содержание белка в готовых изделиях увеличивается практически в 2 раза. Увеличение относительной биологической ценности на 2-26 % свидетельствует о лучшей усвояемости хлеба с добавлением ферментолизата. Установлено, что доля водорастворимых низкомолекулярных биологически активных пептидов в опытных образцах составляет 53-61 % от общего количества водорастворимых белков, что приводит к заметному увеличению антирадикальной активности, тем самым обеспечивая функциональную направленность продукту.

Ключевые слова: *хлебобулочные изделия, ферментолизат из кожи минтая, низкомолекулярные пептиды, дрожжи хлебопекарные, органолептические и физико-химические показатели*

Для цитирования: Караулова Е. П., Клипак М. Б., Слуцкая Т. Н. Обоснование технологии обогащенных хлебобулочных изделий с применением вторичного сырья морского происхождения // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 12–19. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.002. EDN: https://elibrary.ru/IFUWHY.

Original article

SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGY ENRICHED BAKERY PRODUCTS USING PROCESSED MARINE RAW MATERIALS

Ekaterina P. Karaulova [1], Marina B. Klipak [2], Tatiana N. Slutskaya [3]

[1, 3] Pacific Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography, Vladivostok, Russia
[2] Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
[1] ekaterina.karaulova@tinro.vniro.ru ORCID 0000-0001-8508-9603
[2] marina.81928@gmail.com OCRID 0009-0008-0209-4262
[3] slutskaya@tinro.ru OCRID 0000-0002-3228-3047

Abstract. The traditional way of enriching bread and bakery products is the introduction of components of vegetable origin and products of their processing. However, recently, methods of fortification of food products using marine raw materials, as a rule, waste from its processing, have been developing. The prospects and the possibility of using hydrol-

© Караулова Е. П., Клипак М. Б., Слуцкая Т. Н., 2026

ysates of collagen-containing fish raw materials in the technology of bread and bakery products are substantiated. It was found that in the fermentolysate obtained from pollock skin, the content of low molecular weight water-soluble peptides reaches 91% of the amount of water-soluble protein, which is the basis for its use as a functional additive for enriching wheat bread with biologically active substances of marine origin.

The use of fermentolysate in an amount from 5 to 14% by weight of the dough semifabrate (which is 15-35% of the prescription amount of water) makes it possible to increase the activity of baking yeast and reduce the fermentation process of the dough by 2 times. The introduction of a fermentolysate in an amount of up to 35% of the estimated amount of water in the production of wheat bread makes it possible to obtain a product with a high organoleptic rating and physicochemical parameters that meet the requirements of regulatory and technical documentation. At the same time, the protein content in the finished products increases by almost 2 times. An increase in the relative biological value by 2-26% indicates a better digestibility of bread with the addition of fermentolysate. It was found that the proportion of water-soluble low-molecular biologically active peptides in the experimental samples is 53-61% of the total amount of water-soluble proteins, which gives the product a functional orientation and contributes to an increase in antiradical activity.

Keywords: bakery products, pollock skin fermentation product, low molecular weight peptides, baker's yeast, organoleptic and physicochemical properties

For citation: Karaulova E. P., Klipak M. B. & Slutskaya T. N. (2026). Substantiation of technology enriched bakery products using processed marine raw materials. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 12-19. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.002. EDN: https: //elibrary.ru/IFUWHY.

ВВЕДЕНИЕ

Пшеничный хлеб – неотъемлемый элемент потребительской корзины в Российской Федерации. Сравнительно низкая стоимость и простота технологического процесса получения обеспечивает его повсеместное производство и доступность. Однако за счет преобладающего количества легкоусвояемых углеводов (45-50 %), и сравнительного низкого количества белка (до 8 %) пшеничный хлеб представляет собой несбалансированный продукт. В настоящее время наблюдается изменение структуры питания населения, которое заключается в уменьшении потребления традиционных хлебобулочных изделий из пшеничной муки в пользу обогащенных.

Самым распространённым способом фортификации хлебобулочных изделий является частичная замена пшеничной муки на альтернативное сырье мукомольной промышленности (амарантовая, кукурузная мука, мука из псевдозлаковых культур и др.), и (или) овощное и плодово-ягодное сырье и продукты его переработки (порошки, концентраты). Как правило, это оказывает положительное влияние на органолептические и другие показатели качества готовых изделий. Например, использование муки из семян подсолнечника в количестве до 5 % увеличивает содержание белка и жира в готовом продукте на 4,8 % и 2,6 % соответственно, а микроэлементы (цинк, медь, фосфор, магний и др.) и витамины группы В, Е и РР, вносимые с добавкой, положительно влияют на дрожжевую микрофлору, что интенсифицирует газообразующую способность [1]. Сочетание кукурузной и рисовой муки позволяет получить композитную смесь с повышенной пищевой и биологической ценностью [2]. Замена части пшеничной муки при производстве хлеба при этом обеспечивает повышение содержания белка до 10 %, способствует обогащению изделий эссенциальными веществами и пролонгированию сроков хранения, а введение пектина позволяет регулировать структурно-механические свойства [3].

Использование отходов и продуктов переработки растительного сырья, например, порошков из выжимок яблок, индийского крыжовника, кожуры картофеля и тыквы, а также цельно-зерновой муки способствует повышению содержания белка, клетчатки и фенольных соединений [4]. Добавление отходов переработки томатов и болгарского перца в количестве до 9 % способствует снижению общего количества углеводов, при увеличении содержания пищевых волокон, жиров, и минеральных веществ, без негативного влияния на органолептические характеристики готового продукта [5].

Эссенциальные вещества, содержащиеся исключительно в животном сырье, способствуют увеличению пищевой и биологической ценности получаемого продукта. Животный белок содержит все незаменимые аминокислоты, витамины, эссенциальные жирные кислоты и усваивается организмом практически на 95 %. Особенно ценен белок морских и пресноводных гидробионтов, который усваивается организмом быстрее, чем – теплокровных животных. Вторичные продукты рыбной промышленности в полной мере обладают таким же полноценным химическим составом, как и само сырье и являются потенциальными источниками необходимых макро- и микронутриентов, биологически активных веществ, поэтому их использование в пищевой промышленности в настоящий момент является прогрессивным вектором развития отрасли.

В последнее время возрос интерес к получению и использованию коллагена, получаемого из некоторых органов гидробионтов. Обусловлено это тем, что коллаген и, особенно, продукты его гидролиза обладают хорошей биодоступностью и усвояемостью, а низкомолекулярные пептиды и аминокислоты, входящие в состав коллагеновых гидролизатов, характеризуются биологически активными свойствами (гепатопротекторные, антимикробные, антиоксидантные и т.д.) [6]. Низкомолекулярные пептиды рекомендованы при профилактике и лечении остеопороза и остеоартрита в виде композиций с кальцием и витамином D, а входящий в состав глицин способен в комплексе оказывать противовоспалительный эффект [7]. Пептиды с молекулярной массой менее 3,5 кДа способны проявлять антикоагуляционную, противовоспалительную и противораковую активности [8]. Помимо этого, пептиды также способны функционировать в качестве хемотаксического стимула фибропластов для восстановления поврежденных тканей [9], влиять на абсорбцию и метаболизм глюкозы (за счет улучшения толерантности к глюкозе и усиления секреции инсулина) [7], подавлять активность ферментов α-амилазы и α-глюкозидазы [9], регулировать систолическое и артериальное давление [10], тормозить образование липидных бляшек [8].

Поиски способов использования вторичных сырьевых ресурсов рыбной отрасли в технологии хле-

бобулочных изделий активно ведутся в настоящее время, что создает определенный потенциал данного направления. Это тем более актуально, что в данном случае решается проблема комплексного использования сырья.

Таким образом, использование пептидных добавок из коллагенсодержащего сырья морского происхождения в технологии хлебобулочных изделий позволит увеличить функциональность конечного продукта за счет питательных и биологически активных компонентов. При этом важным является возможное увеличение активности дрожжей, применяемых в хлебопекарном производстве, что существенно влияет на качественные показатели хлебобулочных изделий и на технологический процесс в целом [11].

Целью данного исследования является разработка и обоснование технологических подходов к созданию обогащенного пшеничного хлеба за счет использования биологически активных пептидов, полученных из коллагенсодержащего сырья гидробионтов.

МЕТОДЫ

Материалом исследования являлся ферментолизат из кожи минтая, полученный по ранее описанной технологии [12] с применением ферментного препарата «Протамекс» в количестве около 99 ПЕ/г от массы кожи с гидромодулем 1:3, дрожжи хлебопекарные прессованные «Люкс Экстра» и пшеничный хлеб, изготавливаемый однофазным (безопарным) способом.

Ферментолизат из кожи минтая получали при следующих условиях: кожу предварительно промывали, зачищали и высушивали при температуре 45℃ до содержания воды в пределах 10±0,5 %. Далее полученную кожу подвергали ферментативному гидролизу препаратом «Протамекс» в количестве 99 МЕ/г от массы кожи, при гидромодуле 1:3 в течение 4-х часов при температуре 45℃, с последующей инактивацией 20 мин при температуре 80℃. Содержание белка в готовом ферментолизате составляло 30 % [12].

Экстракцию водорастворимых белков проводили по следующей методике: образцы подвергали гомогенизации холодной дистиллированной водой (4 °С) при гидромодуле 1:20 в течение 10 мин, после чего оставляли при температуре 4 °С на 12 ч, при периодическом интенсивном перемешивании. Подготовленные гомогенаты центрифугировали при 8 тыс. об/мин в течение 15 мин и температуре 4 °С. Надосадочную жидкость декантировали, а осадок вторично промывали дистиллированной водой при гидромодуле 1:2 и центрифугировали. Промывание повторяли дважды. Водные экстракты, полученные в ходе каждой процедуры промывки, объединяли и фильтровали через мембранный фильтр Whatman (0,45 мкм). В готовой водной вытяжке определяли содержание общего азота по методу Къельдаля [13]. Анализ фракционного состава белков и пептидов проводили методом гель-проникающей хроматографии высокого давления на хроматографе, оснащенном диодно-матричным детектором (Agilent Technologies 1260 Infinity, USA, CA; TSK gel G 3000PWXL колонка, 7.8 мм I.D. × 30 см (TOSOH Corporation, Tokyo, Japan); λ = 280 нм, скорость потока 0,3 мл/мин; подвижная фаза 0,1 н NaCl, 20 мМ Tris-HCl, pH 7,8).

Определение активности дрожжей проводили методом определения времени всплытия шарика теста. Тестовой шарик готовили следующим образом: навеску дрожжей массой 0,31 г перемешивали в 4,8 мл 2,5 % солевого раствора, добавляли 7 г пшеничной муки, формировали однородный шарик теста. Далее шарик опускали в стакан с водой (температура 35±2℃) и определяли время его всплытия – чем меньше время всплытия шарика, тем выше бродильная активность дрожжей [14].

Требуемое количество воды для замеса теста рассчитывали по формуле [15]

$$x = \frac{100 \cdot c}{100 - a} - b, \text{где}$$

x – необходимое количество воды (г);

a – заданная влажность теста, % (влажность теста рассчитывается как $W_{хл}$+(0,5-1,0), где $W_{хл}$ – влажность хлеба, % (44%);

b – масса сырья, г;

c – масса сырья в сухих веществах, г.

Определение кислотности теста проводили в соответствии с ГОСТ 5670-96 [16].

Показатели готовых изделий устанавливали согласно нормативным документам: органолептических показателей на соответствие требованиям ГОСТ 31805-2018 [17] проводили по ГОСТ 5667-2022 [18]; физико-химических (влажность, пористость, кислотность) – по ГОСТ 21094-2022 [19], ГОСТ 5669-96 [16] и ГОСТ 5669-96 [20]; количества белка – по ГОСТ 10846-91 [21].

Оценку относительной биологической ценности готовых изделий исследовали путем подсчета выращенных клеток культуры инфузорий *Tetrahymena pyriformis* [22] следующим образом: в фарфоровой ступке образец растирали и добавляли 20 мл углеводно-солевой дрожжевой среды (УСД), перемешивали в течение 1-2 минут. После из полученной суспензию пипеткой отбирали по 2 мл образца в пробирки. Для инактивации посторонней микрофлоры пробирки выдерживали на водяной бане при температуре 80ºС 20 минут. В пробирки с подготовленной суспензией после охлаждения до температуры 25 ºс в стерильных условиях вносили культуру инфузорий *Tetrahymena pyriformis* выращенных на пептонной среде. Посевы оставляли в термостате при температуре 25-26 ºС на 7 суток, ежедневно встряхивая по 3 раза для лучшей аэрации. Подсчет клеток ведется с 3-их суток до окончания периода инкубирования.

Для подсчета количества клеток простейших их фиксировали в пробирке фиксирующим раствором (йодный раствор по Бурке) и проводили подсчет в счетных камерах.

Из пробирки отбирали аликвоту и заполняли камеру (Фукса-Розенталя) так, чтобы вся поверхность с сеткой была заполнена жидкостью. Под микроскопом производили подсчет клеток, которые лежат внутри маленького квадрата и находятся на левой и верхней линиях его или касаются их, результат суммировался.

Подсчет выращенных клеток инфузорий производился по формуле:

$$\text{M} = \left(\frac{a \cdot 10^3}{h \cdot S}\right) \cdot n,$$

где M — число клеток в 1 см^3 суспензии;

A — среднее число клеток в квадрате сетки;

H — глубина камеры в мм (0,1 мм);

S — площадь квадрата сетки в мм^2 (0,04 мм^2);

10^3 — коэффициент перевода в см^2 в мм^2;

N — разведение исследуемой суспензии (10).

После подсчета клеток определялась стационарная фаза роста (максимальное число клеток), значение которой бралось для дальнейшего подсчета ОБЦ.

Определение относительной биологической ценности (ОБЦ) проводилось по формуле:

$$\text{ОБЦ} = {}^{N_O}/_{N_K} \cdot 100,$$

где N_o - число инфузорий, выросших в 1 см^3 на среде с опытным продуктом;

N_k - число инфузорий, выросших в 1 см^3 на среде с контрольным продуктом.

Суммарную антирадикальную активность (АРА) определяли по методу [23] с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (ДФПГ). К исследуемому раствору добавляли этанол до общего объема исследуемой смеси 200 мкл, вносили 100 мкл 0,1 мМ ДФПГ в этаноле. Смесь оставляли в темноте при 18°С на 30 минут. Оптическую плотность раствора определяли при 517 нм на спектрофотометре Polar Star Omega SMG Labtech.

Антирадикальную активность (АРА) рассчитывали по формуле:

$$APA\ \% = \frac{(A_{control} - A_{sample})}{A_{control}} \times 100$$

где $A_{control}$ - оптическая плотность раствора сравнения;

A_{sample} - оптическая плотность исследуемого раствора.

Величину антирадикальной активности выражали в единицах эффективной концентрации ЕС 50%, показывающих какое количество (мг) исследуемого образца снижает величину окраски ДФПГ на 50 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее авторами было установлено, что белки кожи минтая содержат до 60% коллагена [12], что делает её источником белковых веществ, которые потенциально могут выступить в качестве катализатора бродильной активности дрожжей [24].

Готовый ферментолизат из кожи минтая представлял собой тёмно-серую вязкую жидкость с характерным рыбным запахом. Содержание сухих веществ составляло – 43,4%, количество белка –30,1%, показатель активной кислотности (pH)=6,4.

При ферментолизе кожи минтая происходит накопление низкомолекулярных пептидов, доля которых достигает 91 % по отношению к водорастворимому белку (таблица 1).

Таблица 1 – Молекулярно-массовое распределение водорастворимых белков и пептидов в ферментолизате кожи минтая

Table 1 – Molecular weight distribution of water-soluble proteins and peptides in the enzymatic lysate of pollock skin

Молекулярная масса, кДа	Содержание к водорастворимому белку, %
≥ 100	-
7,3	73,0±0,2
4,7	2,6±0,3
4,2	6,5±0,6
3,7	5,3±0,2
3,5	1,8±0,1
3,2	0,8±0,1
1,5	0,1±0,0
≤ 1,00	-
Итого	**91,0**

Как видно из данных табл. 1, водорастворимый белок ферментолизата практически полностью представлен низкомолекулярными пептидами с молекулярной массой (ММ) от 1 до 7 кДа, проявляющими потенциальную биологическую активность [6,8,10], оказывающую положительное действие на организм человека. Кроме того, в технологии дрожжевых изделий низкомолекулярные белки и пептиды могут благотворно влиять на бродильную активность и интенсификацию производства [24].

Активность дрожжей в присутствии ферментолизата из кожи минтая исследовали по показателю подъемной силы, который определяли ускоренным методом. Постановка эксперимента заключалась в замене части 2,5 %-ого солевого раствора на ферментолизат в количестве от 15 до 100 %.

Таблица 2 – Влияние ферментолизата на подъемную силу прессованных хлебопекарных дрожжей

Table 2 – Effect of fermentolysate on the lifting force of pressed baking yeast

Время всплытия шарика, мин				
Контроль	Количество гидролизата в системе, %			
	15	35	50	100
18,32±0,53	13,56±0,74	14,07±0,82	16,46±0,44	33,59±0,67

Анализ полученных результатов (табл. 2) показывает, что подъемная сила прессованных дрожжей достоверно увеличивается при концентрации ферментолизата от 15 до 50 %, т.к. время всплытия шарика сокращается, что свидетельствует о его положительном влиянии на процесс брожения, за счет чего возможно сокращение продолжительности брожения тестовых полуфабрикатов. При этом не исключено, что подъемная сила дрожжей увеличивается за счет снижения массовой доли хлорида натрия в системе.

Несмотря на то, что ферментолизат в количестве 50% благоприятно влияет на активность хлебопекарных дрожжей (табл.2) отмечено, что в этом случае разница по сравнению с контролем не столь существенна, поэтому дальнейшее исследование проводилось в диапазоне 15-35%.

Основой для проведения эксперимента являлась рецептура классического пшеничного подового хлеба, приготовленного безопарным способом [25], из муки пшеничной высшего сорта, поваренной соли и хлебопекарных дрожжей.

Согласно технологической инструкции, конечная кислотность готового теста должна составлять 3,0±0,5 град, что достигается за 120-240 мин брожения. С целью

определения влияния количества ферментолизата на процесс кислотонакопления исследовали три опытных образца с различным его количеством (таблица 3), где в образце №1 количество ферментолизата составляло 15% от расчетного количества воды, в образце №2 – 25%, в образце №3 – 35%.

Таблица 3 – Количество воды и ферментолизата, используемых для замеса теста, мл / на 250 г муки

Table 3 – Amount of water and fermentolysate used for kneading dough, ml / for 250 g of flour

	Контроль	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Вода	138,3	117,5	103,7	89,9
Ферментолизат	—	20,8	34,6	48,4

Приготовление теста осуществляли следующим образом: предварительно готовили дрожжевую суспензию, для которой дрожжи перемешивали с частью воды (в случае контроля в полном объеме воды) и вносили ферментолизат из кожи минтая (для опытных образцов), перемешивали и оставляли для активации на 10-15 мин, периодически перемешивая. Дальнейшие операции проводили в соответствии с технологической инструкцией [15].

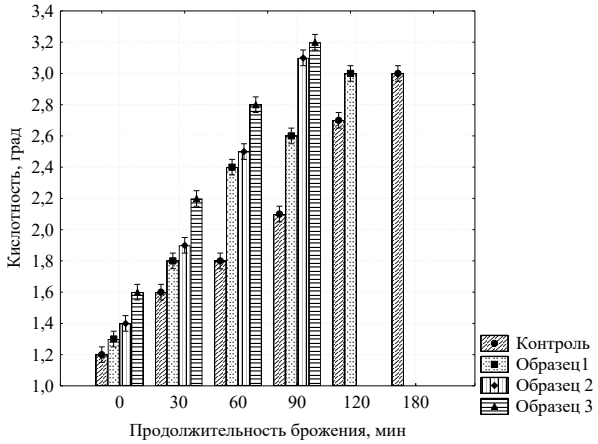


Рисунок 1 – Процесс кислотонакопления теста в контроле и опытных образцах

Figure 1 – The process of acid accumulation in the dough in the control and test samples

Установлено (рис. 1), что в присутствии ферментолизата в системе процесс кислотонакопления идет в 2 раза быстрее, по сравнению с контролем. Кислотность контрольного тестового полуфабриката достигла значения в 3 град за 180 мин брожения. Для образцов №2 и №3 достаточно 90 мин для достижения этого показателя, для образца №1, где было наименьшее количество гидролизата продолжительность составила 120 мин.

Выброженное тесто подвергали разделке, включающей деление теста на куски, придания им продолговатой формы и окончательную расстойку в течение 30 минут, и выпечке при температуре 200 ℃ в увлажненной камере (~70%) в течение 40 мин.

Исследование готовых изделий показало, что по мере увеличения доли ферментолизата происходит затемнение корочки (от светло-соломенного до темно-желтого оттенка) и мякиша (от соломенного до светло-серого оттенка). Анализ поперечного разреза у всех образцов показал пропеченность мякиша, без следов непромеса, с хорошо развитой пористостью. Запах и вкус опытных образцов №1 и 2 – приятный, свойственный данному виду изделий, с несущественным оттенком рыбного запаха. При концентрации ферментолизата 35% отмечается усиление морского оттенка, что негативно сказывается на органолептической оценке хлеба (рис.2).

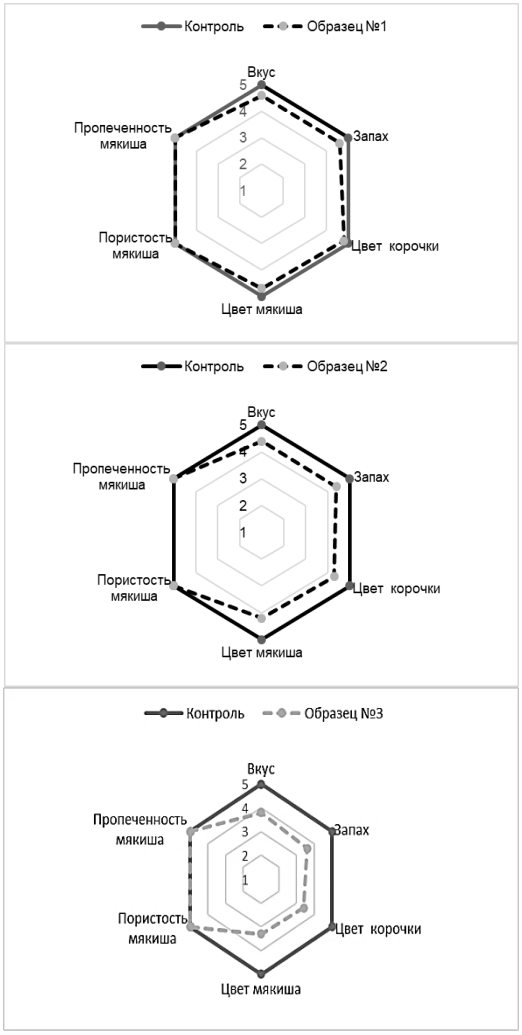


Рисунок 2 – Органолептические профилограммы контрольного и опытных образцов

Figure 2 – Organoleptic profilograms of control and experimental samples

По физико-химическим показателям (табл. 4) готовые и опытные образцы соответствовали требованиям нормативной документации – все показатели были в допустимых пределах. Отмечается, что с увеличением доли ферментолизата в системе несколько снижается влажность мякиша, что может быть обусловлено повышением содержания сухих веществ за счет ферментолизата.

Таблица 4 – Физико-химические показатели готовых изделий

Table 4 – Physico-chemical parameters of finished products

Показатель	Значение показателя				
	ГОСТ 31805-2018	Контроль	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Влажность мякиша, %	44,0	43,4±0,5	41,1±0,5	39,7±0,5	38,7±0,5
Кислотность мякиша, град	не более 3,0	2,1±0,2	2,2±0,3	2,2±0,2	3,0±0,2
Пористость мякиша, %	не менее 70	71,5±0,5	79±0,5	76±0,5	72,2±0,5

Так как целью проводимого исследования являлась разработка технологических подходов к обогащению пшеничного хлеба белком и биологически активными пептидами, то сравнение контрольного и опытных образцов проводили по содержанию белка и относительной биологической ценности.

Таблица 5 – Относительная биологическая ценность пшеничного хлеба

Table 5 – Relative biological value of wheat bread

Объект	Количество клеток инфузорий в 1 мл при переходе в стационарную фазу роста	ОБЦ по отношению к контролю, %
Контроль	$1{,}63\times10^8$	100
Образец №1	$2{,}06\times10^8$	126,5
Образец №2	$1{,}72\times10^8$	105,5
Образец №3	$1{,}67\times10^8$	102,7

Таблица 6 – Содержание белка в пшеничном хлебе, %

Table 6 – Protein content in wheat bread, %

Показатель	Контроль	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Содержание белка	5,9±0,45	7,8±0,45	9,4±0,45	11,8±0,45

Результаты показывают (табл. 5,6), что использование ферментолизата способствует увеличению содержания белка практически в 2 раза, а активное накопление клеток инфузорий на среде с опытными образцами свидетельствует о потенциальном повышении усвояемости продукта.

Как отмечалось ранее, ферментолизат на 90 % состоит из водорастворимой фракции, основную долю которой составляют низкомолекулярные биологически активные пептиды, которые способны оказывать положительное воздействие на физиологические функции организма. Они действуют как потенциальные модификаторы, снижающие риск развития многих хронических заболеваний [8,10,12]. Сравнительный анализ (табл. 7) молекулярно-массового распределения водорастворимых белков и пептидов в опытных образцах и контроле показал, что по мере увеличения доли ферментолизата в системе происходит накопление низкомолекулярных пептидов.

Таблица 7 – Доля низкомолекулярных пептидов в опытных образцах по сравнению с контролем, в % от общего количества водорастворимых белков

Table 7 – Proportion of low molecular weight peptides in the test samples compared with the control, in % of the total amount of water-soluble proteins

ММ, Да	Доля компонента, %			
	Контроль	Образец №1	Образец №2	Образец №3
≤14600	26,7	24,2	25,6	27,1
≤7000	12,5	8,1	8,9	9,7
≤2300	4,1	8,4	9,0	10,1
≤1000	34,0	36,5	40,3	41,2

Содержание биологически активных пептидов в опытных образцах составляет от 53 до 61 % от водорастворимого белка.

Известно, что низкомолекулярные пептиды обладают универсальной биологической активностью, в частности, антирадикальной [26]. В рамках проведенного исследования было проведено сравнение общей антирадикальной активности полученного продукта с контрольным образцом – хлебом без добавления ферментолизата из кожи минтая. Результаты показали, что введение ферментолизата способствует увеличению общей антирадикальной активности в 1,2 раза, а значение эффективной концентрации снижается с 69,6±0,2 до 59,7±0,5 мг. Данные результаты свидетельствуют о потенциальной функциональной ценности и положительном влиянии данного продукта на здоровье человека.

Согласно литературным данным биологически активные пептиды в составе коллагеновых ферментолизатов проявляют антиоксидантную активность и способствуют увеличению антиоксидантной активности в организме, а некоторые пептидные фракции имеют антибактериальные свойства, что подтверждалось подавлением некоторых грамположительных и грамотрицательных бактерий [8,10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы разработана и обоснована технология пшеничного хлеба, обогащенного ферментолизатом из кожи минтая.

Опытным путем установлено, ферментолизат из кожи минтая в количестве от 15 до 50 % по отношению к массе жидкой части благоприятно действует на активность хлебопекарных дрожжей, за счет чего возможно сокращение продолжительности брожения тестовых полуфабрикатов.

Органолептическая оценка опытных образцов показала, что количество ферментолизата до 35% в целом не оказывает негативного влияния на вкусо-ароматические свойства изделий. По физико-химическим показателям все параметры находились в пределах установленных нормативной документацией. Содержание белка составило 7-11 %, а увеличение относительной биологической ценности до 26 % свидетельствует о лучшей усвояемости опытных изделий в сравнении с контролем.

Исследование молекулярно-массового распределения водорастворимых белков и пептидов показало, что в ферментолизате, полученном из кожи минтая, их содержание составляет 91%, что приводит к заметному увеличению антирадикальной активности.

Содержание низкомолекулярных пептидов в хлебе свидетельствует об обогащении продуктов питания растительного происхождения биологически активными компонентами морского сырья, обладающими антирадикальной активностью, что придает функциональную направленность готовому продукту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Субботина, Н. А. Использование растительного сырья для повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий // Приоритетные направления регионального развития: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, Курган, 06 февраля 2020 года. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2020. – С. 793-797.

2. Айрумян, В. Ю., Сокол Н. В., Ольховатов Е. А. Химический состав продуктов переработки зерна риса и кукурузы для повышения пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 3-10.

3. Айрумян, В. Ю., Сокол Н. В., Ольховатов Е. А. Технология и рецептуры хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности на основе разработанных композитных смесей // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 4(376). С. 38-43.

4. Upadhyay S. et al. Utilization of food waste for the development of composite bread //Sustainability. 2023. Т. 15. №. 17. С. 13079.

5. Wirkijowska A. et al. The influence of tomato and pepper processing waste on bread quality //Applied Sciences. 2023. Т. 13. №. 16. С. 9312.

6. Degirolano C., ModicaS., Vacca M. etal. //Prevention of spontaneous hepatocarcinogenesis in farnesoid X receptor-null mice by intestinal-specific farnesoid X receptor reactivation // Hepa-tology. 2015. Vol 61 (1), p.161-170. DOI: 10.1002/hep.27274.

7. Harnedy P. A., FitzGerald R. J. Bioactive peptides from marine processing waste and shellfish: A review //Journal of functional foods. 2012. Т. 4. №. 1. С. 6-24.

8. Xu S. et al. Improving the sustainability of processing by-products: Extraction and recent biological activities of collagen peptides //Foods. 2023. Т. 12. №. 10. С. 1965.

9. Sibilla S. et al. An overview of the beneficial effects of hydrolysed collagen as a nutraceutical on skin properties: Scientific background and clinical studies //Open Nutraceuticals J. 2015. Т. 8. №. 1. С. 29-42.

10. Song H., Li B. Beneficial effects of collagen hydrolysate: a review on recent developments //Biomed J Sci & Tech Res. 2017. Т. 1. №. 2. С. 1-4.

11. Karimi N., Nikoo M., Gavlighi H. A., Gheshlaghi S.P., Regenstein J.M., Xu X. Effect of pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei) protein hydrolysates (SPH) and (−)-epigallocatechin gallate (EGCG) on sourdough and bread quality // LWT. – V. 131.

12. М. Б. Клипак, Т. Н. Слуцкая // Получение ферментолизата из кожи минтая и его использование в технологии продуктов питания // Перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания: техника, технологии и управление качеством: материалы Национальной научно-технической конференции, Владивосток, 30 мая 2023 года//Федеральное агентство по рыболовству; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. – Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2023, с. 63-69.

13. Rosenberg D.M. Protein Analysis and Purification: Benchtop Techniques (second edition) // Birkhauser Base, - 1996. 520 p.

14. Островский А.И. Техно-химический контроль хлебопекарного производства / Учебник для вузов. М.: Пищепромиздат, 1949 г. 323 с.

15. Сборник технологический инструкций для производства хлебобулочных изделий: МЕГАНОРМ. Система нормативных документов. – URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/instrukciya/2/sbornik_tekhnologicheskikh_instruktsiy_dlya_proizvodstva.html#Par2045 (дата обращения: 05.04.2025).

16. ГОСТ 5670-96 Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности. – М.: Стандартинформ, 2006. 6 с.

17. ГОСТ 31805-2018 Изделия хлебобулочные из пшеничной хлебопекарной муки. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 26 с.

18. ГОСТ 5667-2022 Изделия хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 12 с.

19. ГОСТ 21094-2022 Изделия хлебобулочные. Метод определения влажности. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 18 с.

20. ГОСТ 5669-96 Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. 5 с.

21. ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Методы определения белка. М.: Стандартинформ, 2009. 8 с.

22. Шульгин Ю.Н., Шульгина Л.В., Петров В.А. //Ускоренная биотис оценка качества и безопасности сырья и продуктов из водных биоресурсов: монографии// Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2006, с. 124.

23. Molyneux, P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. Songklanakarin J. Sci. Technol, 26(2): 211-219.

24. Гвасалия, Т. С. Дрожжи хлебопекарные как основное сырье хлебопекарного производства / Т. С. Гвасалия, Т. П. Якименко, О. А. Макличенко // Современная наука и инновации. 2016. № 4(16). С. 144-158.

25. Сборник рецептур на хлеб и хлебобулочные изделия / Сост. Ершов П.С. СПб, 1998. 190 с.

26. Sarıtaş S. et al. The Impact of Fermentation on the Antioxidant Activity of Food Products //Molecules. – 2024. – Т. 29. – №. 16. – С. 3941.

Информация об авторах

К.П. Караулова – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Тихоокеанского филиала ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии" (ТИНРО), г. Владивосток.

М.Б. Клипак – аспирант группы ПЭа-412 ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз».

Т.Н. Слуцка – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Тихоокеанского филиала ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии" (ТИНРО), г. Владивосток.

REFERENCES

1. Subbotina, N. A. (2020). The use of plant raw materials to increase the nutritional value of bakery products. In PRIORITY AREAS OF REGIONAL DEVELOPMENT (pp. 793-797). (In Russ.).

2. Ayrumyan, V. Yu., Sokol, N. V., & Olkhovatov, E. A. (2020). Chemical composition of rice and corn grain processing products to increase the nutritional and biological value of bakery products. Polzunovskiy Vestnik, (3), 3-10. (In Russ.).

3. Ayrumyan, V. Yu., Sokol, N. V., & Olkhovatov, E. A. (2020). Technology and formulations of bakery products of increased nutritional value based on the developed composite mixtures. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya, (4), 38-43. (In Russ.).

4. Upadhyay, S., Tiwari, R., Kumar, S., Gupta, S. M., Kumar, V., Rautela, I., ... & Kaushik, R. (2023). Utilization of food waste for the development of composite bread. Sustainability, 15(17), 13079.

5. Wirkijowska, A., Zarzycki, P., Teterycz, D., Nawrocka, A., Blicharz-Kania, A., & Łysakowska, P. (2023). The influence of tomato and pepper processing waste on bread quality. Applied Sciences, 13(16), 9312.

6. Degirolamo, C., Modica, S., Vacca, M., Di Tullio, G., Morgano, A., D'Orazio, A., ... & Moschetta, A. (2015). Prevention of spontaneous hepatocarcinogenesis in farnesoid X receptor–null mice by intestinal-specific farnesoid X receptor reactivation. Hepatology, 61(1), 161-170.

7. Harnedy, P. A., & FitzGerald, R. J. (2012). Bioactive peptides from marine processing waste and shellfish: A review. Journal of functional foods, 4(1), 6-24.

8. Xu, S., Zhao, Y., Song, W., Zhang, C., Wang, Q., Li, R., ... & Sun, L. (2023). Improving the sustainability of processing by-products: Extraction and recent biological activities of collagen peptides. Foods, 12(10), 1965.

9. Sibilla, S., Godfrey, M., Brewer, S., Budh-Raja, A., & Genovese, L. (2015). An overview of the beneficial effects of hydrolysed collagen as a nutraceutical on skin properties: Scientific background and clinical studies. Open Nutraceuticals J, 8(1), 29-42.

10. Song, H., & Li, B. (2017). Beneficial effects of collagen hydrolysate: a review on recent developments. Biomed J Sci & Tech Res, 1(2), 1-4.

11. Karimi, N., Nikoo, M., Gavlighi, H. A., Gheshlaghi, S. P., Regenstein, J. M., & Xu, X. (2020). Effect of pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei) protein hydrolysates (SPH) and (−)-epigallocatechin gallate (EGCG) on sourdough and bread quality. Lwt, 131, 109800.

12. Klipak M. B. & Slutskaya T. N. (2023). Production of enzymolysate from pollock skin and its use in food technology. *Prospects for the development of the food industry and public foods: technology, technology and quality management.* (pp. 63-69). (In Russ.).

13. Rosenberg, I. M. (2013). Protein analysis and purification: benchtop techniques. Springer Science & Business Media.

14. Ostrovsky, A.I (1949). Technochemical Control of Bakery Production / Textbook for Universities. Moscow: Pishchepromizdat, 323 p. (In Russ.).

15. Collection of Technological Instructions for the Production of Bakery Products: MEGANORM. System of Regulatory Documents. – URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/instrukciya/2/sbornik_tekhnolog-icheskikh_instruktsiy_dlya_proizvodstva.html#Par2045 (accessed on 05.04.2025). (In Russ.).

16. Bakery products. Methods for determining acidity (2006). HOST 5670-96. Moscow: Standartinform. (In Russ.).

17. Bakery products made from wheat flour. General technical conditions (2019). HOST 31805-2018. Moscow: Standartinform. (In Russ.).

18. Bakery products. Acceptance rules, sampling methods, methods for determining organoleptic properties and product weight. (2022). HOST 5667-2022. Moscow.: Russian Institute of Standardization. (In Russ.).

19. Bakery products. Method for determining moisture content. (2022). HOST 21094-2022. Moscow: Russian Institute of Standardization. (In Russ.).

20. Bakery products. Method for determining porosity.(2006). HOST 5669-96. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification. (In Russ.).

21. Grain and its processing products. Methods for determining protein. (2008). HOST 10846-91. Moscow: Standartinform. (In Russ.).

22. Shulgin Yu.N., Shulgina L.V., Petrov V.A. (2006). Accelerated biotis assessment of the quality and safety of raw materials and products from aquatic bioresources: monographs. Vladivostok: TSEU. (In Russ.).

23. Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. sci. technol*, *26*(2), 211-219.

25. Gvasalia, T. S., Yakimenko, T. P., & Maklichenko, O. A. (2016). Baking Yeast as the Main Raw Material for Baking Production. Modern Science and Innovations, (4), 144-158. (In Russ.).

25. Ershov P.S. Collection of Recipes for Bread and Bakery Products. (1998). St. Petersburg. (In Russ.).

26.Sarıtaş, S., Portocarrero, A. C. M., Miranda López, J. M., Lombardo, M., Koch, W., Raposo, A., ... & Witkowska, A. M. (2024). The Impact of Fermentation on the Antioxidant Activity of Food Products. Molecules, 29(16), 3941.

Information about the authors

K.P. Karaulova – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Pacific Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography (TINRO), Vladivostok.

M.B. Klipak - postgraduate student of the PEa–412 group of the Dalrybvtuz.

T.N. Slutska – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher at the Pacific Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography (TINRO), Vladivostok.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 20–24.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 20–24.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.859
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.003 EDN: HXKIII

СОЗДАНИЕ НОВЫХ ВИННЫХ НАПИТКОВ ПО ТИПУ ПОРТВЕЙН, ОБОГАЩЕННЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ ЯГОДНЫХ ВИНОМАТЕРИАЛОВ

Софья Алексеевна Донова [1], Наталья Кирилловна Шелковская [2]

[1, 2] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[2, 3] Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия
[1] Sofyadonova@yndex.ru, https://orcid.org/0009-0003-5551-2468
[2] shelk49@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1335-1718

Аннотация. *Впервые создан новый винный напиток типа портвейн, обогащенный ягодными виноматериалами. Исследования по его созданию представляют актуальность и новизну для расширения ассортимента винной продукции, что является важным фактором конкурентоспособности производителей. Представлены результаты анализов виноматериалов после длительной выдержки. Показано максимальное содержание полифенолов во всех виноматериалах – 1615-2200 мг/дм^3, минимальное в черносмородиновом 1145 мг/дм, вследствие использования натурального и диффузионного соков в процессе брожения. Титруемая кислотность высокая в смородиновом 20,3 г/дм^3 и в жимолостном 20,2 г/дм^3, оптимальная в Пино Нуар 9,1 г/дм^3 и рябине черноплодной 10,7 г/дм^3. Естественный наброд спирта 4,5-11 % об. Все соки выбродили «насухо», остаточный сахар в виноматериалах 0,4-0,5 г/100 см^3. Накопление летучих кислот в пределах, допустимых нормативным документом – не более 1,20 г/дм^3. Из виноградного и ягодных виноматериалов приготовили купажи в разных процентных соотношениях. Далее в стеклянных емкостях образцы купажей поместили в термостат на тепловую обработку в течение 25 суток при 50°С с периодической аэрацией методом перелива жидкости в тонком слое из емкости в емкость через сутки. После портвейнизации максимальное содержание полифенолов в образце винного напитка из виноградного виноматериала Пино Нуар и черноплодно-рябинового – 4760 мг/дм^3, несколько ниже в образцах с жимолостным и черносмородиновым – 4692 мг/дм^3 и 4248 мг/дм^{3}соответственно. Титруемая кислотность всех образцов винных напитков типа портвейн находится на одном уровне от 8,0-8,2 г/дм^3. Летучие кислоты в пределах ПДК. Проведено осветление напитков винно-водной суспензией бентонита и раствором желатина в соответствии с результатами пробной оклейки, подслащивание сахарозой, корректировка по спирту. По максимальной дегустационной оценке, отобран винный напиток из винограда сорта Пино Нуар и смородины черной, полностью соответствующий типу портвейна.*

Ключевые слова: *соки жимолости, смородины черной, рябины черноплодной, виноматериалы, купажи, портвейнизация, винные напитки.*

Для цитирования: Донова С.А., Шелковская Н.К. Создание новых винных напитков по типу портвейн, обогащенных биологически активными веществами ягодных виноматериалов // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 20–24. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.003. EDN: https://elibrary.ru/HXKIII.

Original article

CREATION OF NEW PORT-STYLE WINE DRINKS ENRICHED WITH BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF BERRY WINEMATERIALS

Sofya A. Donova [1], Natalia K. Shelkovskaya [2]

[1, 2] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[2, 3] Federal Altai Scientific Center of Agro-Biotechnology, Barnaul, Russia
[1] Sofyadonova@yndex.ru, https://orcid.org/0009-0003-5551-2468
[2] shelk49@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1335-1718

Abstract. *A new port-style wine beverage has been created for the first time, enriched with berry wine material. Research on its development is relevant and innovative for expanding the line of wine products, which is an important factor for the competitiveness of producers. The results of analyses of the wine materials after long-term aging are presented. The maximum polyphenol content in all wine material is shown — 1615-2200mg/dm^3 lowest in blackcurrant at 1145 mg/dm^3, due to the use of natural and diffusion juices during fermentation. The titratable acidity is high in blackcurrant at 20.3 g/dm^3 and honeysuckle at 20.2 g/dm^3, and optimal in Pinot Noir at 9.1 g/dm^3 and black chokeberry at 10.7 g/dm^3. Natural alcohol*

© Донова С.А., Шелковская Н.К., 2026

fermentation ranged from 4.5% to 11% by volume. All juices fermented completely dry, with residual sugar in the wine materials ranging from 0.4 to 0.5 g/100 cm³. The accumulation of volatile acids remained within permissible limits according to regulatory standards—no more than 1.20 g/dm³. Blends were prepared from grape and berry wine materials in various percentage ratios. Subsequently, the blend samples were placed in glass containers and subjected to heat treatment in a thermostat for 25 days at 50°C, with periodic aeration by transferring the liquid between containers in a thin layer every other day. After port aging, the maximum polyphenol content in the wine beverage sample made from Pinot Noir grape wine material and black chokeberry was 4760 mg/dm³, slightly lower in samples with honeysuckle and blackcurrant—4692 mg/dm³ and 4248 mg/dm³, respectively. The titratable acidity of all port-type wine beverage samples is consistent, ranging from 8.0 to 8.2 g/dm³. Volatile acids are within the PEL (permissible exposure limits). The beverages were clarified using a bentonite wine-water suspension and a gelatin solution, in accordance with the results of trial coating, followed by sweetening with sucros, alcohol content adjustment. Based on the highest sensory evaluation, the selected wine beverage made from Pinot Noir grapes and black currants fully conforms to the port wine type.

***Keywords**: juices of honeysuckle, black currant, black chokeberry, wine materials, blends, port wine, and wine drinks.*

For citation: Donova S.A. & Shelkovskaya N.K. (2026). Creation of wine drinks of the port wine type enriched with biologically active substances of berry wine materials. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 20-24. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.003. EDN: https: //elibrary.ru/HXKIII.

ВВЕДЕНИЕ

Винный напиток типа портвейн – должен быть подобен своему аналогу, классическому портвейну. В основе производства напитка такого типа лежит способ экстрагирование красящих, полифенольных, ароматических и других экстрактивных веществ настаиванием сусла белого винограда на мезге или тепловой обработки красных ягод виноградного сырья при первичном виноделии [1,2,6]. При производстве винного напитка типа портвейн определяющими факторами вторичного виноделия являются: состав виноматериалов, длительная тепловая обработка крепких виноматериалов – портвейнизация, доза кислорода при аэрации. Эти факторы определяют интенсивность физико-химических и биохимических превращений, которые формируют типичные для винных напитков типа портвейн органолептические свойства. Для белого портвейна характерна красивая золотистая или янтарная окраска, мягкий вкус с тоном каленого орешка и плодовый букет с тонами выдержки. Красный портвейн имеет красную или темно-красную окраску, полный, гармоничный вкус и сложный букет, плодовый с тонами выдержки. В крепких винах типа портвейн повышенное содержание спирта при не малом содержании сахара. Очень большое значение имеет титруемая кислотность. Она должна быть умеренной 5-7 г/дм^3. Выше 7 г/дм^3 отрицательно сказывается на вкусе этих вин. Характерной особенностью химического состава крепких вин типа портвейн является повышенное содержание приведенного экстракта, играющим большую роль в формировании свойств и вкуса винных напитков такого типа. В процессе исследований мы пытались создать новый винный напиток по типу портвейн с введением сброженных соков жимолости, смородины черной и рябины черноплодной из ягодного сырья алтайской селекции.

УСЛОВИЯ

Первичное брожение виноградного и ягодных соков проведено в экспериментальном цехе ФГБНУ ФАНЦА, отделе НИИ садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко. Создание и исследования винных напитков по типу портвейн проведены в лабораторных условиях кафедры «Технология бродильных производств и виноделия АлтГТУ им. И.И. Ползунова».

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Виноградный сок из красного винограда французского сорта Пино Нуар, ягодные сброженные соки свежесброженные и после длительной выдержки, готовые винные напитки типа портвейн.

МЕТОДЫ

Сброженные соки и винные напитки по типу портвейн изготовлены в соответствии с «Основными правилами, технологическими инструкциями и нормативными материалами по производству винодельческой продукции» [9]. Методики исследования показателей физико-химического состава виноградных и ягодных соков, виноматериалов и готовых винных напитков – по ГОСТ: ISO750; 24556; 26188; 28562; 32001; Р 51620. Сумму полифенолов определяли с реактивом Фолина-Чокальтеу [5]. Анализы проведены в троекратной повторности. Стабилизацию виноматериалов осуществляли внесением суспензии бентонита и раствора желатина по результатам пробной оклейки [3].

Цель данной работы: создание нового винного напитка типа портвейн из виноматериала красного винограда французского сорта купажированием сброженными ягодными сортовыми соками из сырья алтайской селекции.

Актуальность и новизна исследований заключается в их практической ценности - расширения ассортимента винной продукции за счет эффективного использования ягодного сырья алтайского сортимента и перспективой внедрения в промышленное производство.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Выдержанные длительное время (15 мес.) виноградный и ягодные виноматериалы проанализированы по основным физико-химическим показателям.

Составили купажи из выдержанных виноматериалов в различных процентных соотношениях. Добавление ягодного виноматериала в соответствии с ГОСТ 32030-2021 «Вина. Общие технические условия» – не более 15 % в виноградный виноматериал.

На рисунках 1-3 представлены графики купажей виноградного виноматериала с ягодными сброженными соками. Подготовленные купажи поместили в термостат при температуре 50 °С в течение 25 суток при периодической аэрации.

Аэрацию в лабораторных условиях проводили способом перелива исследуемых образцов в тонком слое.

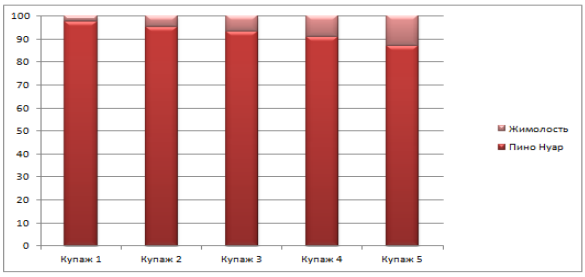


Рисунок 1 – купажи виноматериалов Пино Нуар и жимолости

Figure 1 – Blends of Pinot Noir and Honeysuckle Wine Materials

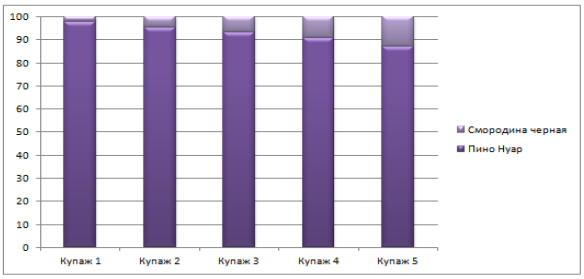


Рисунок 2 – Купажи Пино Нуар и смородины черной

Figure 2 – Blends of Pinot Noir and Black Curran

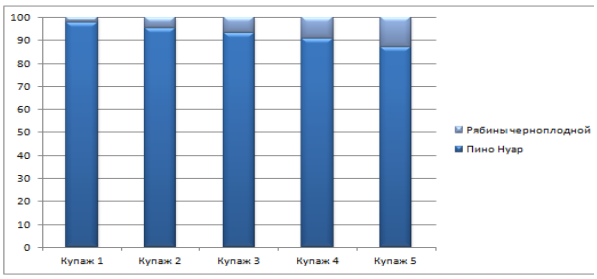


Рисунок 3 – Купажи виноматериалов Пино Нуар и рябины черноплодной

Figure 3 – Blends of wine materials Pinot Noir and chokeberry

В выдержанных 15 мес. сброженных соках максимальное содержание полифенолов показано в черноплодно-рябиновом – 2250 мг/дм^3, несколько ниже в жимолостном и виноградном – 2200 мг/дм^3 и 1615 мг/дм^3 соответственно [4,8,10]. Минимальная сумма полифенолов в черносмородиновом – 1145 мг/дм^3, так как в процессе брожения использованы две фракции соков: натуральный и диффузионный (Рис.4). Остаточное содержание сахара 0,4-0,5 %.

Титруемая кислотность соков высокая в смородиновом – 20,3 г/дм^3 и в жимолостном – 20,2 г/дм^3, оптимальная в Пино Нуар – 9,1 г/дм^3 и рябине черноплодной – 10,7 г/дм^3; pH соответствует кислотности [11,13]. Объемное содержание спирта 4,5-11,2 %. Остаточное содержание сахара от 0,4-0,5 г/100 см^3. Летучие кислоты в пределах, допустимых нормативным документом до 1,2 г/дм^3 (Табл.1).

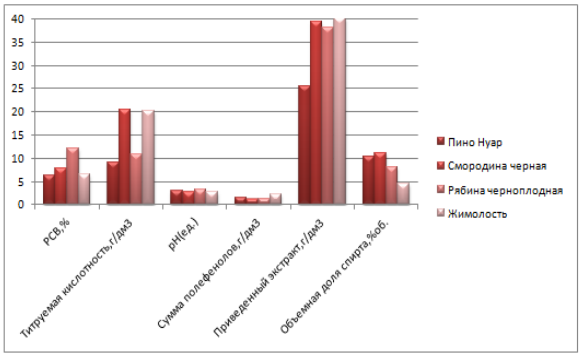


Рисунок 4 – Биохимические показатели виноматериалов после 15 мес. выдержки

Figure 4 – Biochemical indicators of wine materials after 15 months of aging

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для обогащения виноградного виноматериала сорта Пино Нуар биологически активными веществами нативного происхождения проводили его купажирование с ягодными сброженными соками в процентных соотношениях (табл. 2, рис. 5).

Максимальное содержание полифенолов в купаже из Пино Нуар и рябины черноплодной – 4450 мг/дм^3, несколько ниже в купаже из Пино Нуар и жимолости – 4230 мг/дм^3, минимальное количество в Пино Нуар и смородине черной – 4100 мг/дм^3. Титруемая кислотность во всех купажах практически на одном уровне от 8,1 до 8,8 г/дм^3. Активная кислотность pH коррелирует с титруемой кислотностью. Объемное содержание спирта в купажах от 10,5 до10,6 %. Летучие кислоты в пределах, допустимых нормативным документом – до 1,2 г/дм^3.

Таблица 1 – Физико-химические показатели выдержанных виноматериалов в течение 15 мес.

Table 1 – Physical and chemical characteristics of 15-month-aged wine materials

Культура, виноматериал, сорт	PCB, %	Титруемая кислотность, г/дм^3	pH, ед.	Сумма полифенолов, мг/дм^3	Приведенный экстракт, г/дм^3	Объемная доля спирта, %
Виноградный Пино Нуар	6,2	9,1	3,00	1615	25,5	10,3
Жимолостный Берель	5,9	20,2	2,81	2200	40,1	4,5
Черносмородиновый Лама	7,9	20,3	2,71	1145	39,1	11,2
Черноплодно-рябиновый	12,0	10,7	3,30	2250	38,2	10,5

Таблица 2 – Физико-химические и биохимические показатели купажей до тепловой обработки

Table 2 – Physical, chemical, and biochemical properties of blends before heat treatment

Культура, виноматериал, сорт	РСВ, %	Титруемая кислотность, г/дм	pH, ед.	Сумма полифенолов, мг/дм^3	Приведенный экстракт, г/дм^3	Объемная доля спирта, %
Пино Нуар / жимолостный	5,6	8,8	3,10	4230	23,9	10,6
ПиноНуар /черносмородиновый	5,9	8,2	3,11	4100	26,7	10,6
Пино Нуар /чернорябиновый	5,7	8,1	3,10	4450	25,3	10,5

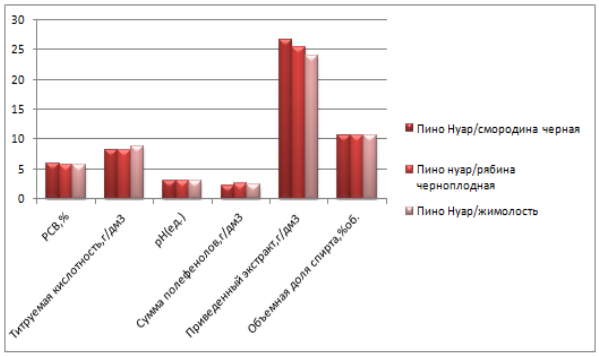


Рисунок 5 – Биохимические показатели купажей до тепловой обработки

Figure 5 – Biochemical indicators of blends before heat treatment

Процесс портвейнизации купажей проводили на протяжении 25 дней при температурном режиме 50° С в термостате с учетом фактора аэрации. После термической обработки купажи с целью осветления и стабилизации оклеивали суспензией бентонита и раствором желатина в соответствии с результатами пробной оклейки, затем их фильтровали. Полученные купажи имели недостаточную крепость для винного напитка типа портвейн – 18-22 % об. Вследствие чего в них добавили расчетное количество спирта до необходимых кондиций по крепости. После спиртования крепость купажей составила 19,9–20,1% объемных. Для подслащивания образцов добавили сахарозу из расчета 50 г/дм^3.

После спиртования и подслащивания до нормируемых требований получены три образца винных напитка типа портвейн. В таблице 3 представлены результаты биохимических и физико-химических показателей готовых винных напитков. Максимальное содержание полифенолов в готовом винном напитке из виноматериалов виноградного сорта Пино Нуар и черноплодно-рябинового – 4760 мг/дм^3, несколько ниже из Пино Нуар и жимолостного – 4692 мг/дм^3, минимальное в Пино Нуар черносмородиновом – 4248 мг/дм^3. Содержание спирта в пределах, нормируемых для вин типа портвейн и составляет 19,9-20,1 % об. Титруемая кислотность не более допустимого высшего предела – 8,0-8,2 г/дм^3. Содержание сахара соответствует внесенному количеству сахарозы при подслащивании – 49,5-50,1 г/дм^3. Летучие кислоты в пределах ПДК. Органолептическая характеристика трех винных напитков показала соответствие вкуса, прозрачности, букета, цвета, типичности винам портвейн. По максимальной дегустационной оценке, 9,5 балла отобран винный напиток типа портвейн из винограда сорта Пино Нуар и смородины черной сорта Лама.

Таблица 3 – Физико-химические показатели винных напитков типа портвейн

Table 3 – Physical and chemical properties of port wine-type alcoholic beverage

Культура, виноматериал, сорт	Сахар, г/дм^3	Титруемая кислотность, г/дм	pH, ед.	Сумма полифенолов, мг/дм^3	Приведенный экстракт, г/дм^3	Объемная доля спирта, %
Пино Нуар/ жимолость	50,0	8,0	2,90	4692	23,2	20,1
ПиноНуар/смородина черная	49,5	8,1	3,10	4248	25,8	20,0
Пино Нуар/ рябина черноплодная	50,1	8,2	3,00	4760	24,7	19,9

ВЫВОДЫ

1. Выявлены различия физико-химических и биохимических показателей выдержанных длительное время виноматериалов виноградных, жимолостных, черносмородиновых и черноплодно-рябиновых.

2. Выработаны три образца виноградно-ягодных винных напитков типа портвейн.

3. Установлено, что создание новых винных напитков типа портвейн с использованием плодов винограда, жимолости, смородины черной и рябины черноплодной в дальнейшем позволит расширить ассортимент винной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурьян Н.И. Микробиология виноделия. Ялта: Институт винограда и вина «Магарач» Украинской академии аграрных наук. 1997. 431 с.

2. Валуйко Г.Г. Технология виноградных вин. Симферополь : Таврида, 2001. 620 с.

3. Валуйко, Г.Г., Зинченко В.И., Мехузла Н.А. Стабилизация виноградных вин. Симферополь : Таврида, 1999. 208 с.

4. Васильченко В.Г., В.И. Проценко Черноплодная рябина. Москва: Колос, 1967. 94 с.

5. Гержикова В.Г. Методы технохимического контроля в виноделии. Симферополь: Таврида, 2002. 206 с.

6. Кишковский З.Н., Мержаниан А.А. Технология вина. Москва : «Легкая и пищевая промышленность, 1984. 504 с.

7. Экспертиза напитков / В.М. Позняковский, В.А. Помозова, Т.Ф. Киселёва, Л.В. Пермякова. Новосибирск: изд-во Новосиб. Ун-та, 2001. 384 с.

8. Помология. Сибирские сорта плодовых и ягодных культур XX столетия / РАСХН. Сибирское отделение ГНУ НИИСС им. М.А. Лисавенко. Новосибирск: ООО «Юпитер», 2005. 568 с.

9. Сборник основных правил, технологических инструкций и нормативных материалов по производству винодельческой продукции. Москва: 1998. 242 с.

10. Шелковская Н.К., Хабаров С.Н. Сибирские плоды и ягоды – перспективное сырье для виноделия // Труды IV международной научно-практической конференции. Новосибирск: РИФ, 2004. С. 167-172.

11. Шелковская Н.К., Хабаров С.Н. Виноделие – перспективное направление переработки сибирских плодов и ягод // Ползуновский альманах. №1. 2005. С. 124-126.

12. Шольц-Куликов Е.П. Виноделие по-новому. Союз виноделов Крыма, 2009. 320 с.

13. Юрченко Л.А. Биохимия яблочного виноделия. Минск: Наука и техника, 1983. 167 с.

Информация об авторах

С. А. Донова – магистрант кафедры «Технология хранения и переработки зерна» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Н. К. Шелковская – доцент «Технология хранения и переработки зерна» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

REFERENCES

1. Burian N.I. Microbiology of Winemaking. - Yalta: Institute of Viticulture and Wine "Magarach" of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences, 1997- 431 p.

2. Valuyko G.G. Technology of Grape Wines. Simferopol: Tavrida, 2001. 620 p.

3. Valuyko, G.G. Stabilization of Grape Wines / G.G. Valuyko, V.I. Zinchenko, and N.A. Mekhuzla. Simferopol: Tavrida, 1999. - 208 p.

4. Vasilchenko, V. G. Aronia melanocarpa / V. G. Vasilchenko, V. I. Protsenko. Moscow: Kolos, 1967. 94 p.

5. Gerzhikova V.G. Methods of Technochemical Control in Winemaking. Simferopol: Tavrida, 2002. – 206 p.

6. Kishkovsky Z.N., Merzhanian A.A. Wine Technology – Moscow: Light and Food Industry, 1984 – 504 p.

7. Poznyakovsky, V.M. Expertise of Beverages / V.M. Poznyakovsky, V.A. Pomozova, T.F. Kiseleva, and L.V. Permyakova. Novosibirsk: Novosibirsk University Press, 2001. 384 p.

8. Pomology. Siberian Varieties of Fruit and Berry Crops of the 20th Century/ Russian Academy of Agricultural Sciences. Siberian Branch of the Lisavenko Research Institute of Fruit Crop Breeding, Novosibirsk: Jupiter LLC, 2005. – 568 p.

9. Collection of basic rules, technological instructions, and regulatory materials on the production of wine products – Moscow, 1998. – 242 p.

10. Shelkovskaya N. K., Khabarov S.N. Siberian fruits and berries – a promising raw material for winemaking //Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. – Novosibirsk: RIF, 2004. – Pp. 167-172.

11. Shelkovskaya N.K., Khabarov S.N. Winemaking is a promising direction for processing Siberian fruits and berries. – Barnaul, Polzunovsky Almanac, No. 1, 2005, pp. 124-126.

12. Sholts-Kulikov E.P. Winemaking in a New Way. Union of Winegrowers of Crimea, 2009. – 320 p.

13. Yurchenko, L.A. Biochemistry of Apple Winemaking. Minsk, Nauka i Tekhnika, 1983. 167 p.

Information about the authors

S. A. Donova − master's student of the Department of THPZ of the Polzunov Altai State Technical University.

N. K. Shelkovskaya − associate professor of the Department of THPZ of the 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 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 25–31.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 25–31.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 338.439.01
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.004 EDN: IAOFIV

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННОМ РЫНКЕ РЕСПУБЛИКИ БУРУНДИ

Нзейимана Диомед [1], Наталья Алексеевна Бугаец [2], Александра Игоревна Макарова [3]

[1, 2] Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия
[3] Российский государственный университет туризма и сервиса, Москва, Россия
[1] nzeyimanadiomede@gmail.com
[2] kubanochka23@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4012-8837
[3] alexia90@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-7560-4349

Аннотация. *Недоедание считается одной из основных причин непоправимого ущерба здоровью населения в целом и детей в частности. Установлено, что правильное питание обеспечивает рост и развитие детей, помогает предотвратить заболевания, улучшает работоспособность и увеличивает продолжительность жизни. Недавние исследования показали, что недоедание ежегодно приводит к смерти более 2,5 миллионов детей во всем мире и является основной причиной более трети всех случаев смерти детей в возрасте до пяти лет во всем мире. Недоедание является фактором риска более чем 28 % смертей в Африке.*

В рамках исследования проведен опрос для анализа характеристик потребителей на продовольственном рынке Республики Бурунди. Объектом исследования стали женщины с детьми в возрасте до пяти лет. Результаты исследования демонстрируют, что ситуация с питанием в Бурунди тесно связана с характеристиками потребителей на продовольственном рынке Республики Бурунди. Результаты этого исследования позволят экономическим операторам продовольственного рынка учитывать, с одной стороны, характеристики потребителей в пищевом производстве, а с другой – доступность пищевых продуктов, способных удовлетворить их потребности.

Ключевые слова: *продукты питания, продовольственная безопасность, Республика Бурунди, женщины, дети.*

Благодарности: *автор выражает признательность коллегам за помощь, благодарность за финансовую поддержку исследования.*

Для цитирования: Нзейимана Диомед, Бугаец Н. А., Макарова А. И. Анализ характеристик потребителей на продовольственном рынке республики бурунди // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 25–31. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.004. EDN: https://elibrary.ru/IAOFIV.

Original article

ANALYSIS OF CONSUMER CHARACTERISTICS IN FOOD MARKET REPUBLIC OF BURUNDI

Nzeimana Diomed [1], Bugayets N.A. [2], Makarova A.I. [3]

[1, 2] Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
[3] Russian State University of Tourism and Service, Moscow, Russia
[1] nzeyimanadiomede@gmail.com
[2] kubanochka23@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4012-8837
[3] alexia90@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-7560-4349

Abstract. *Malnutrition is considered one of the main causes of irreparable damage to the health of the population in general and children in particular. It has been established that proper nutrition ensures the growth and development of children, helps prevent diseases, improves performance and increases life expectancy. Recent studies have shown that malnutrition causes the death of more than 2.5 million children worldwide each year and is the leading cause of more than a third of all deaths of children under the age of five worldwide. Malnutrition is a risk factor for more than 28 % of deaths in Africa.*

As part of the study, a survey was conducted to analyze the characteristics of consumers in the food market of the Republic of Burundi. The object of the study was women with children under the age of five. The results of the study demonstrate that the nutritional situation in Burundi is closely related to the characteristics of consumers in the food market of the Republic of Burundi. The results of this study will allow economic operators of the food market to take into account, on the one hand, the characteristics of consumers in food production, and on the other, the availability of food products that can meet their needs.

Keywords: *food, food security, Republic of Burundi, women, children.*

© Нзейимана Диомед, Бугаец Н. А., Макарова А. И., 2026

***Acknowledgements**: the author expresses gratitude to his / her colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.*

For citation: Nzeimana Diomed, Bugayets N. A. & Makarova A. I. (2026). Analysis of consumer characteristics in the food market of the Republic of Burundi. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 25-31. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.004. EDN: https: //elibrary.ru/IAOFIV.

ВВЕДЕНИЕ

Питание являлось неотъемлемой составляющей нашего общества на протяжении тысячелетий [1].

В начале XXI века нехватка правильных питательных микроэлементов, или «дефицит питательных микроэлементов», стала горячей темой в международном сообществе разработчиков продовольственной политики для описания «продовольственной проблемы» в развивающихся странах. Сегодня продовольственная система стала одной из крупнейших мировых сетей производства и потребления.

Географические представления о еде проливают свет на жестокий парадокс, лежащий в основе современной глобализации. Несмотря на прирост мирового производства продуктов питания с середины 1960-х годов на 300 %, более 821 миллиона человек на Земле умирают от голода и связанных с голодом заболеваний, в то время как здоровью миллионов людей угрожает пандемия ожирения, что подчеркивает необходимость решения глобальной задачи по достижению цели нулевого голода к 2030 году [2].

Недоедание ежегодно приводит к смерти более 2,5 миллионов детей во всем мире. Это является основной причиной более трети всех случаев смерти детей в возрасте до пяти лет во всем мире (по данным Организации Объединенных Наций), а недоедание является фактором риска более 28 % смертей в Африке [3].

Такие разные по многим характеристикам страны как Китай, Мексика, Саудовская Аравия и Египет в настоящее время страдают от «двойного бремени», когда недоедание является серьезной проблемой общественного здравоохранения наряду с ожирением; странный мир, в котором «некоторые уничтожают продукты питания из-за слишком низких цен, а другие буквально едят с земли, потому что цены на продукты питания слишком высоки». Голод растет почти во всех субрегионах Африки и, в меньшей степени, в Латинской Америке и странах Западной Азии [4].

В Республике Бурунди 58 % детей в возрасте до пяти лет страдают хроническим недоеданием (задержка в наборе веса и роста по сравнению с детьми их возраста в других регионах) и дефицитом в потреблении питательных микроэлементов, что также является реальной проблемой общественного здравоохранения, при этом 45 % детей в возрасте до пяти лет страдают анемией.

Распространенность анемии среди женщин репродуктивного возраста составляет 16 % в городских и 19 % в сельских районах. Число семей с низким и незначительным потреблением продуктов питания составляет 43 % в периоды пиковых нагрузок и 20 % в периоды сбора урожая [5].

Республика Бурунди все еще находится на ранней стадии перехода к уровню питания, характеризующегося низкими показателями избыточного веса и ожирения (по оценкам около 2,9 %), в основном среди городского населения [8].

Таким образом, уязвимость сельского населения возрастает, а обнищание ускоряется в условиях растущего дефицита продовольствия в последние годы. Почти 75 % населения живет за чертой бедности (менее одного доллара США в день на душу населения), а 85 % семей ежедневно сталкиваются с отсутствием продовольственной безопасности [8].

Что касается пищевого баланса, то объем необходимой энергии обеспечивается на уровне 75 %, потребление белка – на 40 %, а липидов – на 22 %. Действительно, в ежедневном рационе жителя Республики Бурунди более чем на 90 % преобладают продукты с низким содержанием основных питательных элементов (клубни и корнеплоды, бананы) и незначительным содержанием или отсутствием белка, жиров и микроэлементов [8].

В области питания уязвимыми являются женщины, которые несут основную ответственность за питание плода при беременности и страдают от дефицита питательных микроэлементов. Эти проблемы связанны с питанием людей в целом и детей в частности [9].

Бурундийские женщины составляют 51,47 % от общей численности населения, из которых 85 % – женщины-фермеры. Они играют центральную роль в обеспечении продовольственного суверенитета домашних хозяйств и сообществ. В условиях очень высокого уровня хронического недоедания с распространенностью задержки роста более 58 % среди детей в возрасте до 5 лет средства к существованию домашних хозяйств не обеспечивают достаточного доступа женщин к пище для удовлетворения потребностей питания этих детей в раннем возрасте [8].

Целью работы является маркетинговое исследование, сбор и анализ информации о потребительских характеристиках в отношении продуктов питания, представленных на рынке, ассортименте продуктов и пожеланиях, чтобы определить интересы и ожидания потребителей в отношении разработки новых продуктов питания, способных удовлетворить физиологические потребности.

МЕТОДЫ

Для проведения исследования проведено выборочное анкетирование, в качестве метода выбран онлайн-опросник с использованием службы Google Forms. Разработана и введена анкета для опроса, состоящая из 17 вопросов, посвященных мотивации, интересам и поведению потребителей при покупке продуктов питания на рынке в Республике Бурунди.

Следует отметить, что аналогичный опрос населения регулярно проводится во многих африканских странах, включая Республику Бурунди. Роль таких опросов неоспорима в получении информации, характеризующей различные аспекты, связанные с доступностью, предложением, спросом и потреблением продуктов питания, имеющихся в наличии на рынке.

В опросе приняли участие 346 женщин, имеющих одного или нескольких детей в возрасте до пяти лет, проживающие в трех регионах Республики Бурунди, включая север, запад и юго-восток. Опрос проводился в феврале-марте 2023 года.

В ходе исследования широко использовались закрытые вопросы. В ответах на вопросы респонденты высказывали свое мнение о характере продовольственного рынка Республики Бурунди.

Отправной методологической точкой при изучении характеристик потребителей на продовольственном рынке в любом регионе является поведение потребителей. Его характеристики и динамика определяют стратегию и тактику рыночных преобразований на всех потребительских рынках, механизмы реагирования на изменение спроса.

Подсчет и обработка данных выполнялись различными программами, включая Excel и Word, и результаты были представлены в виде графиков и гистограмм с пояснительными комментариями.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение респондентов по возрасту

Потребителей пищевых продуктов можно классифицировать по возрасту. Анализ результатов показал, что большая часть респондентов находится в возрасте от 26 до 35 лет (165 женщин), в возрасте от 16 до 25 лет – 93 потребителя, в возрасте от 36 и старше – 80 женщин, и в возрасте до 15 лет 8 женщин (рисунок 1).

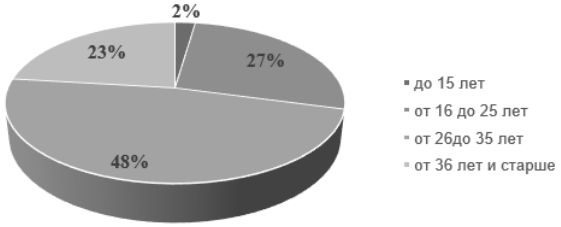


Рисунок 1 – Распределение респондентов по возрасту

Figure 1 – Distribution of respondents by age

Среди опрошенных женщин в возрасте от 15 до 35 лет насчитывается 266 человек, или 76,7 %, по сравнению с 23 % в возрасте от 36 лет и старше. Эти данные объясняют, что население Республики Бурунди в основном молодое.

Распределение респондентов по семейному положению

В опросе респонденты разделены на четыре группы в зависимости от их семейного положения: замужние, одинокие, разведенные и овдовевшие. Анализ анкетных данных показал, что большинство респондентов состоят в браке – 93 %, одинокие – 2 %, разведены – 3 %, вдовы – 2 % опрошенных (рисунок 2).

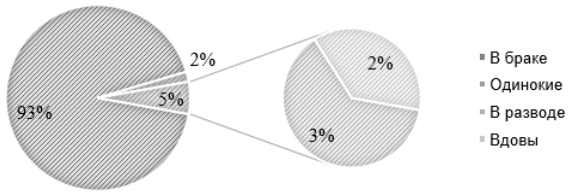


Рисунок 2 – Распределение респондентов по семейному положению

Figure 2 – Distribution of respondents by marital status

Результаты соответствуют исследованию условий жизни семей в Республике Бурунди, проведенного в 2013-2014 годах, когда семьи, состоящие из супружеских пар, составляли большинство или 64,1 %, в то время как численность расширенных семей составляла приблизительно 17,6 % [10].

Распределение респондентов по уровню образования

В зависимости от уровня образования респонденты делятся на четыре уровня: начальное, среднее, высшее и без образования. Результаты показали, что большинство респондентов не имеют образования – 48 %, 23 % респондентов – начальное образование, 21 % – со средним образованием и 8 % респондентов с высшим образованием (рисунок 3).



Рисунок 3 – Распределение респондентов по уровню образования

Figure 3 – Distribution of respondents by education level

Демографическое и медицинское исследование в Республике Бурунди за 2016-2017 годы показало, что более трети (36 %) женщин в возрасте от 15 до 49 лет вообще не имеют образования, 39 % женщин имеют начальное образование, 15 % женщин имеют среднее образование первого цикла и 9 % женщин имеют среднее образование второго цикла. Только 1 % женщин имеют высшее образование [11].

Согласно отчету об анализе ситуации с плохим питанием и недоеданием детей в возрасте до пяти лет в Республике Бурунди (SitAn 2013), уровень образования вызывает наибольшую разницу в численности детского населения, страдающего от недоедания. Иными словами, если бы все матери имели среднее образование, доля детей, страдающих от недоедания, была бы резко снижена. Если бы все главы семейств посещали среднюю школу, процент детей с недостаточным весом снизился на 17,4 %, а процент детей, страдающих хроническим недоеданием, снизился бы на 15 %. [3]. По данным исследования условий жизни семей за 2015 год, 44,5 % населения Республики Бурунди не имеют образования [10].

Исследования показали, что количество лет обучения и формальной подготовки, проведенных специально для девочек, тесно связано с сокращением масштабов хронического голода и недоедания для будущих поколений. До тех пор, пока образованные женщины имеют больший доступ к средствам существования, они более открыты для новых идей и, следовательно, в большей степени способны заботиться о потребностях своих детей в питании [8].

Распределение респондентов по профессиональной деятельности

Собранные статистические данные показывают, что большинство опрошенных женщин работают фермерами (65,9 % или 228 респондентов); безработные составляют 11,8 % (41 респондент); государственными служащими являются 9,2 % (32 респондента); 6,1 % опрошенных работают в торговле (21 респондент) (рисунок 4).

Полученные результаты согласуются с результатами других исследований, проведенных в Республике Бурунди, которые показывают, что бурундийские женщины составляют 51,47 % от общей численности

населения, из которых 85 % – женщины-фермеры [8]. Сельскохозяйственный сектор Республики Бурунди является основным источником занятости (84 % населения) и обеспечивает до 95 % поставок продовольствия [7].

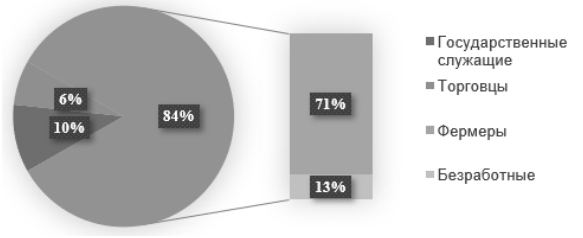


Рисунок 4 – Распределение респондентов по профессиональной деятельности

Figure 4 – Distribution of respondents by professional activity

Распределение респондентов по количеству детей в возрасте до 5 лет в семье

В опросе разделили респондентов по количеству детей в возрасте до пяти лет, находящихся в семье. Результаты показали нам, что у большинства респондентов в семьях двое детей в возрасте до пяти лет (158 респондентов), один ребенок в возрасте до пяти лет – 37 %, трое (16 %) и четверо (1 %) детей в возрасте до пяти лет (рисунок 5).



Рисунок 5 – Распределение респондентов по количеству детей в возрасте до 5 лет в семье

Figure 5 – Distribution of respondents by the number of children under the age of 5 in the family

По данным последней всеобщей переписи населения и жилищного фонда 2008 года, 51 % населения составляют женщины с общим коэффициентом фертильности почти 6,3 ребенка на женщину.

Наличие двух детей в возрасте до пяти лет в большинстве семей в Бурунди объясняется высоким коэффициентом рождаемости, составляющим 6,3 ребенка на женщину, который остается почти стабильным в течение многих лет.

В среднем у женщины в Республике Бурунди за весь репродуктивный период ее жизни рождается 5,5 детей. Показатели рождаемости существенно различаются в зависимости от уровня образования женщин: 6,3 ребенка на одну женщину среди необразованных против 4,1 ребенка на одну женщину среди населения со средним и высшим образованием [10].

Распределение респондентов по проблемам, связанным с питанием детей

Респонденты по-разному воспринимают проблемы, связанные с питанием их детей в возрасте до пяти лет. В ходе опросе установлено, что проблемы недоедания у большинства респондентов связаны с отсутствием возможности контролировать питание ребенка в течение дня (55,8 %); нехватка средств для обеспечения рационального питания ребенка (54,3 %); нехватка времени на приготовление пищи дома (54,3 %); недостаточные знания о том, как кормить ребенка (56,9 %); расхождение во взглядах взрослых членов семьи на организацию питания ребенка (18,5 %) (рисунок 6).

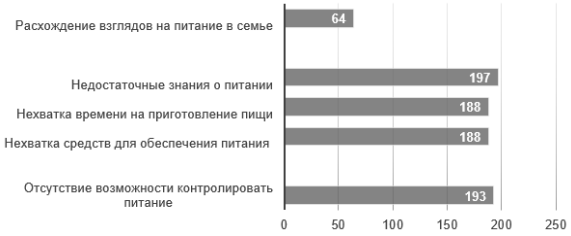


Рисунок 6 – Распределение опрошенных по проблемам, связанным с питанием ребенка

Figure 6 – Distribution of respondents on issues related to child nutrition

По этим причинам матери детей, страдающих от недоедания, не видят важности расширения разнообразия продуктов или не имеют экономических средств для покупки дополнительного питания или, возможно, времени на приготовление множества различных блюд [3].

Распределение респондентов по факторам, влияющим на состояние здоровья ребенка

В опросе респондентов разделили по степени осведомленности о факторах, влияющих на состояние здоровья их детей. Согласно результатам опроса, 85,3 % респондентов признают, что количество пищи является фактором, влияющим на состояние здоровья. 74 % респондентов рассматривают качество пищи как фактор, влияющий на состояние здоровья. 53,5 % признают медицинское обслуживание фактором, влияющим на здоровье и благополучие. Остальные опрошенные (4 %) считают, что окружающая среда является фактором, влияющим на состояние здоровья детей (рисунок 7).

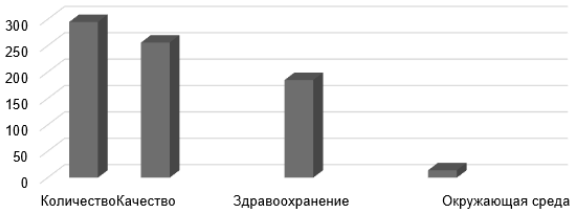


Рисунок 7 – Распределение опрошенных по факторам, влияющим на состояние здоровья ребенка

Figure 7 – Distribution of respondents by factors affecting the child's health status

Результаты этого исследования согласуются с результатами Национального плана сельскохозяйственных инвестиций в Республике Бурунди, в котором подсчитано, что в ежедневном рационе жителя республики более чем на 90 % преобладают продукты, содержащие малое количество основных элементов (клубни и корнеплоды, бананы), с низким содержанием или полным отсутствием источников белка, липидов и микроэлементов [8].

Распределение респондентов в соответствии с мерами по профилактике состояния здоровья ребенка

Отвечая на вопрос: «Проводят ли женщины с детьми в возрасте до пяти лет профилактическую терапию для оценки состояния здоровья детей?», установлено, что более половины (51 %) респондентов не делают это (рисунок 8).

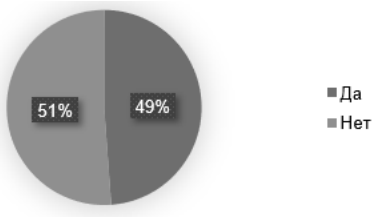


Рисунок 8 – Распределение респондентов в зависимости от того, предпринимают ли они профилактические меры в отношении состояния здоровья ребенка

Figure 8 – Distribution of respondents depending on whether they take preventive measures regarding the child's health

Низкий уровень образования женщин, их социальный статус и ограниченная способность принимать важные решения в домашнем хозяйстве могут негативно повлиять на их питание и питание их детей. Расширение доступа девочек к образованию и создание возможностей для обучения и доступа к качественным услугам во всех областях принесет несколько преимуществ статусу женщин и, таким образом, положительно скажется на статусе питания и развитии ребенка [5].

Распределение респондентов по частоте заболеваний

В опросе представлен вопрос о заболеваниях, встречающихся у детей в возрасте до пяти лет. Полученные результаты показали, что на первом месте малярия (92,8 % респондентов), диарея – 90,2 % респондентов, и кишечные паразитарные заболевания и амебиаз – 45,1 % и 29,8 % респондентов соответственно (рисунок 9).

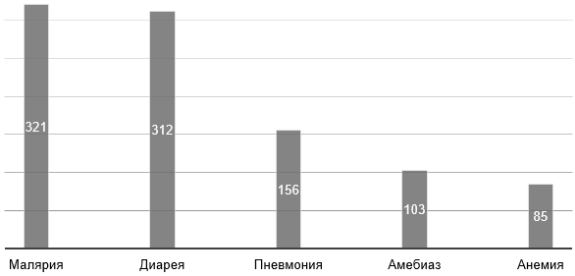


Рисунок 9 – Распределение респондентов по частоте заболеваний

Figure 9 – Distribution of respondents by disease frequency

Согласно данным Национальной информационной системы здравоохранения, малярия является основной причиной заболеваемости и смертности, зарегистрированных на уровне медицинских учреждений среди населения в целом, и является причиной 50 % консультационных обращений в больницах и медицинских центрах страны и 48 % случаев смерти среди детей в возрасте до пяти лет, в то время как диарея является третьей по значимости причиной смертности среди детей в возрасте до пяти лет, что составляет 13 % смертей. Распространенность является одной из самых высоких в субрегионе и связана с плохими санитарно-гигиеническими условиями в большинстве домашних хозяйств [8].

Проведенные исследования показали, что матери и отцы недоедающих детей, по-видимому, не так озабочены гигиеной и не занимают активную позицию в отношении профилактики диареи [3].

Распределение респондентов по факторам, влияющим на покупку продуктов питания

Потребители пищевых продуктов полагаются на определенные критерии при выборе одного продукта в ущерб другому. Задан вопрос, чтобы определить факторы, влияющие на покупку продуктов питания на рынке. Результаты показывают, что фактор количества учитывают 90,8 % респондентов, цена продукта – 66,8 % респондентов, качество продуктов – 66,8 % респондентов и вкус, и внешний вид – 31,5 % и 11 % респондентов соответственно (рисунок 10).

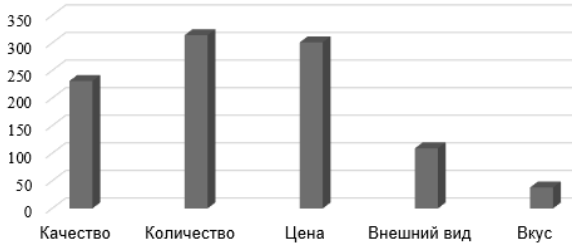


Рисунок 10 – Распределение респондентов по факторам, влияющим на покупку продуктов питания

Figure 10 – Distribution of respondents by factors influencing the purchase of food products

Экономика Бурунди основана главным образом на натуральном сельском хозяйстве, характеризующемся очень высокой численностью сельского населения и очень низкой производительностью [12].

В Республике Бурунди, где размер семьи часто велик из-за коэффициента рождаемости на одну женщину и 75 % населения живет за чертой бедности (менее одного доллара США в день на душу населения), при этом 85 % сталкиваются с отсутствием продовольственной безопасности, женщины, играющие центральную роль в обеспечении продовольственной безопасности домашних хозяйств и общин, в большинстве случаев принимают решение о покупке продуктов, учитывая количество и цену продовольственных товаров, чтобы обеспечить семью продуктами питания при ограниченных средствах [12].

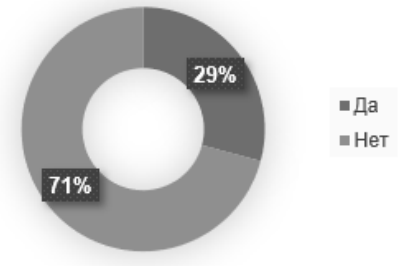


Рисунок 11 – Знают ли респонденты о функциональных пищевых продуктах

Figure 11 – Do respondents know about functional food products

Распределение респондентов по уровню знаний о функциональных пищевых продуктах

Функциональные пищевые продукты улучшают здоровье и самочувствие и способствуют профилактике заболеваний. Согласно результатам опроса, большинство респондентов не знают о функциональных пищевых продуктах – 71 % (рисунок 11).

Эти результаты объясняются той простой причиной, что более 85 % населения Республики Бурунди зарабатывает на жизнь сельским хозяйством и что они довольствуются продуктами своего урожая. Еще одна из причин связана со слабостью агропродовольственной промышленности Республики Бурунди и отрасли общественного питания.

Распределение респондентов в соответствии со знанием основ рационального питания

В ходе исследований установлено, что 67 % респондентов не имеют знаний об основах рационального питания (режим питания, физиологическая потребность, суточная потребность, и т.д.) (рисунок 12).

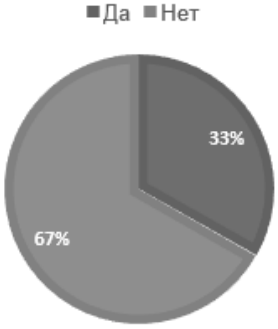


Рисунок 12 – Знают ли респонденты о правилах сбалансированного питания

Figure 12 – Are the respondents aware of the rules of balanced nutrition

Полученные данные совпадают с данными отчета продовольственного баланса в Республике Бурунди за период 2020-2021 гг., в котором преобладают продукты растительного происхождения для получения на одного человека дневной нормы белков (94 %) и жиров (85,7 %). Продукты животного происхождения обеспечивают только 6 % белка и 14,3 % жиров [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В трех регионах Республики Бурунди были проведены маркетинговые исследования среди женщин, имеющих детей в возрасте до пяти лет. Результаты исследования предоставили информацию и статистические данные, отражающие различные аспекты их поведения в отношении продуктов питания, доступных на рынке. Установлены ключевые характеристики потребителей на рынке пищевых продуктов в Республике Бурунди: недостаток знаний о функциональных пищевых продуктах, низкое понимание важности таких продуктов и сбалансированного питания, а также разнообразные критерии выбора продуктов. Это подчеркивает необходимость предоставления информации, которая может трансформировать продовольственный рынок с применением различных механизмов, соответствующих потребностям сообщества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эмили Кассель, Ив Ле Ру. Анализ системы корзины колледж по обеспечению качественными продуктами питания и организации общественного питания, октябрь 2019 г.

2. Функциональные продукты питания / Н. А. Фролова, Н. В. Шкрабтак, Ю. А.Гужель, Ю. А. Праскова. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2021.

3. Доклад об анализе ситуации с недоеданием детей в возрасте до пяти лет (Ситан, 2013 г.) в Бурунди, UNICEFBURUNDI, 2013 г.

4. Ангус И. продовольственный кризис: величайшая демонстрация исторического провала глобальных исследований капиталистической модели. http://www.socialistvoice.ca/?p=274.

5. Межсекторальный стратегический план обеспечения продовольственной и пищевой безопасности (PSMSAN) на 2014-2017 гг., апрель 2014 г.

6. Национальная политика Бурунди в области здравоохранения на 2016-2025 годы, январь 2016 г.

7. Национальная сельскохозяйственная система Бурунди (2018-2027 гг.), Бужумбура, ноябрь 2018 г.

8. Национальный план инвестиций в сельское хозяйство на 2016-2020 годы, Бужумбура, март 2016 г.

9. Ая Хирата Кимура. Пол и политика в отношении более разумных продуктов питания. – 2013. - 241 С.

10. Доклад о модульном обследовании условий жизни домашних хозяйств в 2013/2014 годах, Бужумбура, май 2015 года

11. Демографическое и медицинское обследование 2016-2017 гг., Бурунди, 7 июля 2017 г.

12. Национальный план инвестиций в сельское хозяйство на 2012-2017 годы, Бужумбура, июнь 2011 года

13. Отчет об анализе продовольственных балансов Бурунди за 2020-2021 годы, Бужумбура, апрель 2023 г.

14. Неджма Бернусси; Люси Сирие, влияние атрибутов и показателей качества на покупательское поведение пищевых продуктов, Umr moisa 2020

15. Амаду, эконометрический анализ детерминант потребления пищевых продуктов в коммуне Тахуа (Нигер), январь 2021 г.

16. Урдия Шаллал, МЕСЛУБ Слиман, эволюция продовольственной безопасности во времени, июнь 2022 г.

17. ВУНБА К. и др. (2022) «восприятие органических продуктов камерунскими потребителями», международный журнал исследователей "Том 3: Выпуск 2", стр. 797-814.

18. Лилиан Боннал, Мари Ферру и Дени Шарль, « восприятие и покупательское поведение продуктов питания, январь 2022 г.

Информация об авторах

Диомед Нзейимана – аспирант очной формы обучения по научной специальности 4.3.3 Пищевые системы (технические науки) кафедры «Общественного питания и сервиса» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия.

Н. А. Бугаец – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Общественного питания и сервиса» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия.

А. И. Макарова – кандидат филологических наук, доцент Высшей школы общего гуманитарного образования (на правах института), ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Москва, Россия.

REFERENCES

1. Emilie Kassel, Yves Le Roux, Analyse du système Panier Collège d'approvisionnement en produits alimentaires de qualité et de proximité en restauration collective, Octobre 2019.
2. Функциональные продукты питания / Н.А. Фролова, Н.В. Шкрабтак, Ю.А. Гужель, Ю.А. Праскова. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2021.
3. Le rapport de l'Analyse de la Situation de la Malnutrition des Enfants de moins de cinq ans (SitAn 2013) au Burundi, UNICEFBURUNDI 2013
4. Angus, I. Food crisis: The greatest demonstration of the historical failure of the capitalist model' global research. http://www.socialistvoice.ca/?p=274.
5. Plan strategique multisectoriel de securite alimentaire et nutritionnelle (PSMSAN) 2014-2017, AVRIL 2014
6. Politique Nationale de Santé 2016-2025 du Burundi, Janvier 2016
7. Système Nationale Agricole au Burundi (2018-2027), Bujumbura, Novembre 2018
8. Plan Nationale d'Investissement Agricole 2016-2020, Bujumbura, Mars 2016
9. Aya Hirata Kimura. Gender and the Politics of Smarter Foods. – 2013. – 241 p.
10. Rapport de l'enquête modulaire sur les conditions de vie des ménages 2013/2014, Bujumbura, Mai 2015
11. Enquête Démographique et de Santé 2016-2017, Burundi, 7 juillet 2017
12. Plan Nationale d'Investissement Agricole 2012-2017, Bujumbura, juin 2011
13. Rapport d'analyse des bilans alimentaires du Burundi 2020-2021, Bujumbura, Avril 2023
14. Nedjma Bernoussi; Lucie Sirieix, L'impact des attributs et indicateurs de qualité sur le comportement d'achat d'un produit alimentaire, Umr moisa 2020
15. Z. AMADOU, Analyse économétrique des déterminants de la consommation des produits alimentaires dans la commune de Tahoua (Niger), Janvier 2021
16. Ourdia Challal, MESLOUB Slimane, Evolution de la sécurité alimentaire à travers le temps, Juin 2022
17. VOUNBA C. et al. (2022) «Perception des produits biologiques par les consommateurs camerounais», Revue Internationale du Chercheur «Volume 3: Numéro 2» pp: 797 – 814
18. Liliane Bonnal, Marie Ferru et Denis Charles, « Perceptions et comportements d'achat des produits alimentaires, Janvier 2022

Information about the authors

Nzeimana Diomed, graduate student of the Department of «Catering and Service» of the Kuban State Technological University Krasnodar, Russia.

N. A. Bugaets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Catering and Service» of the Kuban State Technological University Krasnodar, Russia.

A.I. Makarova, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor, Higher School of General Education in the Humanities (Institute) of the Russian State University of Tourism and Service, Moscow, Russia.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 32–38.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 32–38.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.6:621.923:664.8
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.005 EDN: EJWQPT

МЕТОДОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ 3D ПЕЧАТИ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Александр Владимирович Анисимов [1], Наталья Львовна Моргунова [2], Ольга Сергеевна Фоменко [3], Никита Александрович Семилет [4], Анна Сергеевна Кизиёва [5]

[1, 2, 3, 4,] Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия
[1] anisimovaleksan@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5313-6329
[2] morgunovanl@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1671-0528
[3] fomenkoos@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2700-3119
[4] semiletna@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4200-0896
[5] nosowa88@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0004-8966-8839

Аннотация. *В статье представлены результаты исследований по оптимизации технологических параметров 3Д- печати на основе анализа реологических характеристик на примере шоколадной глазури. Методология работы включала комплексный подход, основанный на планировании эксперимента по методу Бокса-Бенкена и анализе реологических свойств шоколадной глазури с применением реометра Anton Paar Physica MCR 102 (Германия). Ключевыми факторами, влияющими на качество 3D-печати, являются скорость подачи материала, температура материала печати, диаметр сопла и высота слоя. Экспериментально установлены оптимальные значения технологических параметров для 3D-печати шоколадной глазурью: скорость подачи материала – 15мм/с, температура печати – 32°С, диаметр сопла – 0,8 мм, высота слоя – 0,4 мм. Показано, что наибольшее влияние на точность формирования модели оказывает температура печати. Установлена взаимосвязь между динамической вязкостью шоколадной глазури и качеством печати. Полученные результаты позволяют рекомендовать температуру 32 °С и значение динамической вязкости η = 6,5 Па·с в качестве оптимальных параметров для 3D-печати шоколадной глазурью. Разработанная методология подбора технологических параметров на основе реологических характеристик пищевых систем позволяет минимизировать дефекты изделий и сократить время настройки 3D-принтера. Разработанный методологический подход может быть адаптирован для других пищевых систем и создает научную базу для дальнейших исследований в области аддитивных технологий в пищевой промышленности.*

Ключевые слова: *оптимизация, технологические параметры, пищевые системы, 3D-печать, шоколадная глазурь, аддитивные технологии, пищевые принтеры, качество печати, динамическая вязкость, температура печати.*

Для цитирования: Методология оптимизации технологических параметров 3d печати пищевых систем / А.В. Анисимов [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 32–38. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.005. EDN: https://elibrary.ru/EJWQPT.

Original article

METHODOLOGY FOR OPTIMIZING TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF 3D PRINTING OF FOOD SYSTEMS

Alexander V. Anisimov [1], Natalya L. Morgunova [2], Olga S. Fomenko [3], Nikita A. Semilet [4], Anna S. Kizieva [5]

[1, 2, 3, 4, 5] Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia
[1] anisimovaleksan@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5313-6329
[2] morgunovanl@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1671-0528
[3] fomenkoos@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2700-3119
[4] semiletna@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-4200-0896
[5] nosowa88@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0004-8966-8839

Abstract. *The article presents the results of research on optimization of technological parameters of 3D printing based on the analysis of rheological characteristics using chocolate glaze as an example. The methodology of the work included an integrated approach based on experimental planning using the Box-Behnken method and analysis of rheo-*

© Анисимов А. В., Моргунова Н. Л., Фоменко О. С., Семилет Н. А., Кизиёва А. С., 2026

logical properties of chocolate glaze using an Anton Paar Physica MCR 102 rheometer (Germany). The key factors affecting the quality of 3D printing are the material feed rate, the temperature of the print material, the nozzle diameter and the layer height. The optimal values of the technological parameters for 3D printing with chocolate glaze were experimentally established: material feed rate - 15 mm/s, printing temperature - 32 ° C, nozzle diameter - 0.8 mm, layer height - 0.4 mm. It is shown that the printing temperature has the greatest influence on the accuracy of model formation. The relationship between the dynamic viscosity of the chocolate glaze and the printing quality was established. The obtained results allow us to recommend a temperature of 32 °C and a dynamic viscosity value of η = 6.5 Pa•s as optimal parameters for 3D printing with chocolate glaze. The developed methodology for selecting process parameters based on the rheological characteristics of food systems allows us to minimize product defects and reduce the setup time of the 3D printer. The developed methodological approach can be adapted to other food systems and creates a scientific basis for further research in the field of additive technologies in the food industry.

Keywords: *optimization, technological parameters, 3D printing, food systems, chocolate glaze, additive technologies, food printers, print quality, dynamic viscosity, printing temperature*

For citation: A. V. Anisimov, N. L. Morgunova, O. S. Fomenko, N. A. Semilet & A. S. Kizieva (2026). Methodology for optimizing technological parameters of 3d printing of food systems. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 32-38. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.005. EDN: https: //elibrary.ru/EJWQPT.

ВВЕДЕНИЕ

Аддитивные технологии представляют собой один из ключевых трендов цифровой трансформации в рамках концепции Индустрии 4.0. Четвертая промышленная революция сопровождается массовым внедрением цифровых решений в различные сферы деятельности человека. Современные аддитивные технологии нашли широкое применение и в пищевой промышленности, за счет внедрения высокоэффективных инновационных технологических решений, направленных на разработку и производство новых видов пищевых продуктов.

В стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года технология 3D-печати пищевых продуктов перспективным направлением формирования рынка будущего [9]. Основное преимущество данной технологии заключается в возможности создания персонализированных продуктов питания с заданными функциональными, органолептическими и нутриентными характеристиками, что соответствует современному направлению развития здорового питания, персонализации потребления и цифровизации производственных процессов [27]. Это позволит значительно расширить ассортимент данного сегмента продукции, что особенно актуально в условиях растущего спроса на пищевые продукты, адаптированные к индивидуальным потребностям и предпочтениям потребителей.

Зарубежными и отечественными учеными активно ведутся исследования в области аддитивных технологий для создания мясных, рыбных, мучных изделий, а также продуктов на основе растительного сырья, направленные на оптимизацию их функциональных, органолептических и питательных характеристик [3,6,9,21]. Особое внимание уделяется изучению физико-химических и структурно-механических характеристик пищевых систем, с целью возможности их использования в аддитивных технологиях производства продуктов питания. Особое внимание уделяется анализу реологических свойств, таких как вязкость, текучесть, и способность к послойному формообразованию, что является ключевыми факторами обеспечения точности печати и стабильности структуры готовых изделий [10,11].

Шоколадная глазурь стала одним из первых материалов, нашедших применение в технологии пищевой 3D-печати. Это обусловлено легко изменяющимися реологическими свойствами при заданных температурных режимах, а также способностью сохранять стабильную форму после завершения процесса 3D-печати [4].

Основное внимание уделяется изучению реологических свойств шоколадной глазури, таких как вязкость, напряжение сдвига и др., а также подбору и изучению технологических параметров: температура материала, скорость печати, диаметр сопла и высота слоя, которые оказывают большое влияние на точность процесса 3D - печати [18,22].

Согласно результатам научных исследований [16,22] установлено, что для достижения оптимальной консистенции температура плавления глазури должна поддерживаться в диапазоне 30–32°C. Авторы утверждают, что данный температурный режим обеспечивает баланс между реологическими характеристиками материала и его способностью сохранять форму после нанесения слоя.

В исследованиях авторов [16] установлены оптимальные параметры для применения шоколадной глазури в 3D-печати. Показано, что использование сопла диаметром 0,8–1,2 мм обеспечивает высокую точность воспроизведения модели, при этом скорость печати должна составлять 10–15 мм/с, что позволило избежать деформации структуры и сохранить детализацию готового изделия. Благовещенский И.Г. и др. определили оптимальные параметры экструзионной 3D-печати для темной шоколадной глазури марки «Belgostar». Установлено, что оптимальная температура шоколадной глазури для печати составляет 36 °C, также выявлена зависимость времени изготовления качественного объекта от скорости экструзии материала и высоты наносимого слоя. Полученные результаты позволили существенно ускорить процесс печати [4].

Авторами [13,14,17] предложена методика оценки технологической пригодности пищевых композиций для аддитивного производства. Данная методика основана на расчете параметров 3D-печати с учетом реологических характеристик пищевых систем. Установлено, что на основе анализа реологических данных можно определить оптимальные условия печати, обеспечивающие высокое качество формирования трехмерных структур. Предложенная методология позволяет прогнозировать поведение материала в процессе печати и минимизировать дефекты готовых изделий, что особенно важно для сложных пищевых систем. В тоже время ряд исследований по определению связи реологических свойств пищевых смесей с пригодностью к 3D-печати показывает, что данный способ является очень затратным по времени и не всегда достоверным [12,15,19,20,22].

Современные методики оценки технологической пригодности пищевых систем, такие как расчет параметров печати на основе реологических данных, пока не решают проблему полностью из-за их недостаточной достоверности и сложности применения. Это создает потребность в разработке универсальных способов, которые позволили бы прогнозировать поведение материалов в процессе печати, минимизировать дефекты изделий и сократить время настройки оборудования.

Решение этой проблемы способствует повышению точности и эффективности 3D-печати пищевых продуктов.

Целью данного исследования является разработка методологии оптимизации технологических параметров 3D-печати пищевых систем на основе анализа их реологических характеристик (на примере шоколадной глазури), обеспечивающих минимизацию дефектов, повышение точности и сокращение временных затрат на настройку процесса печати.

В проведении работ поставлены следующие **задачи**:

- определить оптимальные технологические параметры 3D-печати шоколадной глазури Chocovic Adora (скорость подачи, температура, диаметр сопла, высота слоя);
- теоретически рассчитать скорость сдвига в сопле 3D-принтера по оптимальным параметрам;
- исследовать реологические свойства шоколадной глазури (динамическую вязкость), в зависимости от температуры, при рассчитанной скорости сдвига;
- установить взаимосвязь между реологическими показателями (динамическая вязкость) и качеством 3D – печати;
- разработать универсальный способ подбора технологических параметров 3D-печати на основе анализа реологических данных, адаптируемый для других пищевых систем.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись шоколадная глазурь Chocovic Adora (Бельгия), пищевой принтер Wiiboox Sweetin (Китай). Оптимизация технологических параметров печати (скорость подачи, температура материала, диаметр сопла, высота слоя) выполнялась методом планирования эксперимента (Box-Behnken) с оценкой точности по 10-балльной шкале [1,2,6]. Реологические свойства изучались при скорости сдвига 150 $с^{-1}$ в диапазоне температур 28–44 °С. на реометре Anton Paar Physica MCR 102 (Германия). Экспериментальные исследования проводились на базе цифровой лаборатории по конструированию продуктов питания ФГБОУ ВО Вавиловский университет, созданной в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030». Реологические исследования проводились на базе «Учебно-научно-испытательной лаборатории по определению качества пищевой и с.-х. продукции».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе анализа литературных источников и проведённых экспериментальных исследований были определены наиболее значимые факторы и их диапазоны варьирования, оказывающие влияние на качество 3D-печати шоколадной глазурью. К таким факторам относятся: скорость печати, температура материала, диаметр сопла и толщина слоя. Диапазоны варьирования каждого из факторов были определены с учётом реологических характеристик шоколадной глазури и технических возможностей оборудования [13,14,17, 23-26]. В качестве параметра оптимизации выбрана точность формируемой модели, оцениваемая по 10-балльной шкале.

Разработана и реализована матрица планирования экспериментов в виде полуреплики полного факторного эксперимента 2^4 (таблица 1). После проведения исследований, в соответствии с матрицей, результаты были проанализированы с помощью программы Statistica (модуль «Планирование эксперимента»), в ходе чего были определены коэффициенты регрессии. Полученные данные представлены на рисунке 4. Анализ полученных данных выполнен методом Бокса-Бенкена, который предполагает описание поверхности отклика уравнением первой степени [2,5].

Таблица 1 - Матрица планирования эксперимента (параметр оптимизации – точность формируемой 3D модели)

Table 1 – The experiment planning matrix (optimization parameter is the accuracy of the generated 3D model)

Условные обозначения	Скорость подачи материала, мм/с	Температура печати материала, °С	Диаметр сопла, мм	Высота слоя, мм	Точность формируемой 3D модели, баллы (1-10)
	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1
Верхний уровень (+)	20	34	1,0	0,6	
Основной уровень (0)	15	32	0,8	0,4	
Нижний уровень (-)	10	30	0,6	0,3	
Опыты					
1	-	+	+	+	7
2	+	-	+	+	8
3	+	+	-	+	7
4	-	-	-	+	9
5	+	+	+	-	5
6	-	-	+	-	8
7	-	+	-	-	8
8	+	-	-	-	9

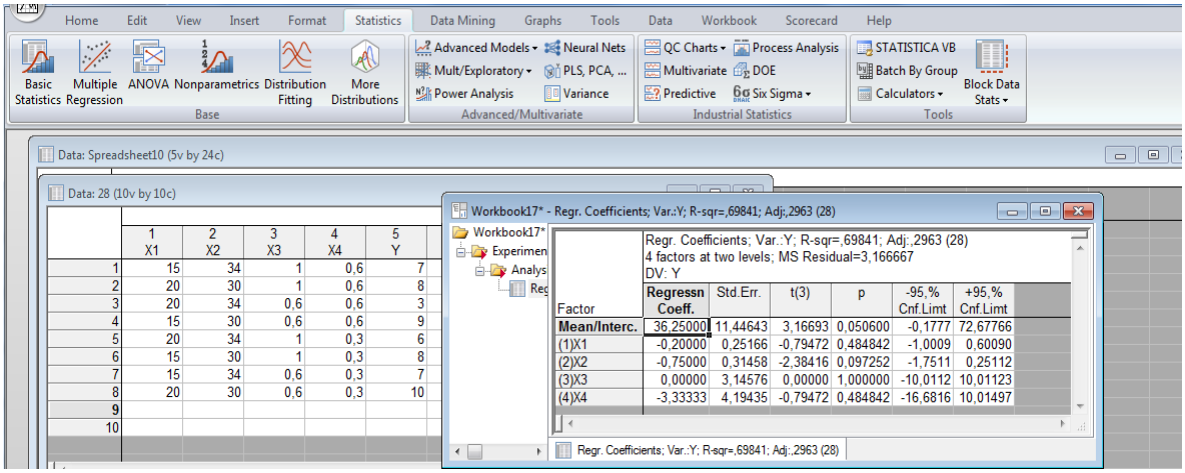


Рисунок 1 - Матрица экстремального планирования исследования и анализ полученных данных

Figure 1- The matrix of extreme planning of research and analysis of the received data

Адекватность полученной линейной модели оценивалась путём проверки гипотезы о равенстве нулю коэффициентов уравнения регрессии и свободного члена. Для этого выполнялось сравнение расчётного уровня значимости свободного члена и факторов ***p*** с заданным уровнем значимости **α**=0,05. Из таблицы регрессионного анализа (рисунок 1) видно, что расчётный уровень значимости ***p*** для свободного члена и всех факторов превышает α=0,05. Таким образом, можно сделать вывод о том, что полученная модель не соответствует линейной зависимости, и для описания области оптимума необходимо использовать уравнение второго порядка.

Для изучения и описания области оптимума выбран план Бокса (B4), близкий к D – оптимальному [20,21]. Результаты представлены на рисунке 2.

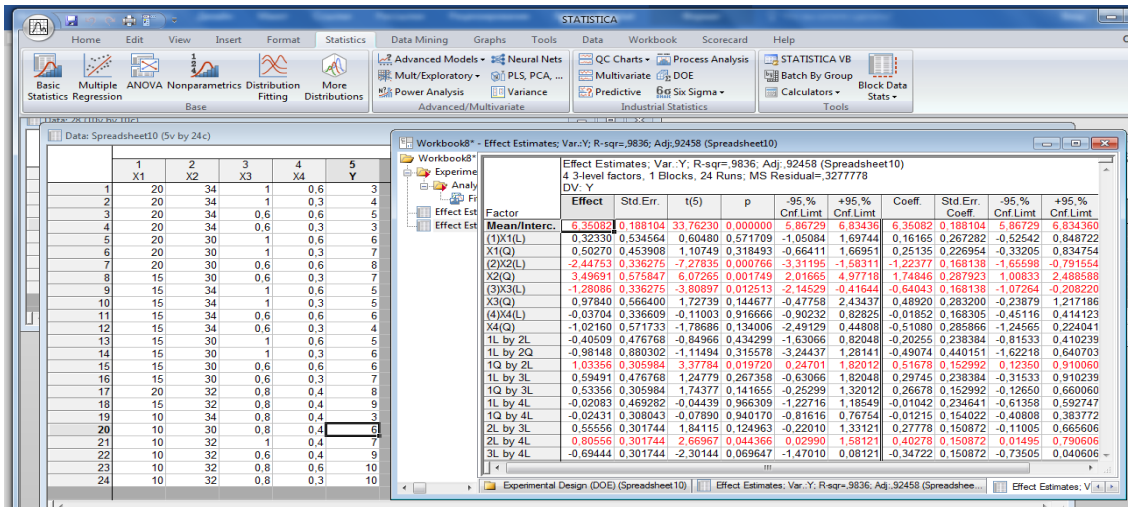


Рисунок 2 – Матрица планирования и дисперсионный анализ

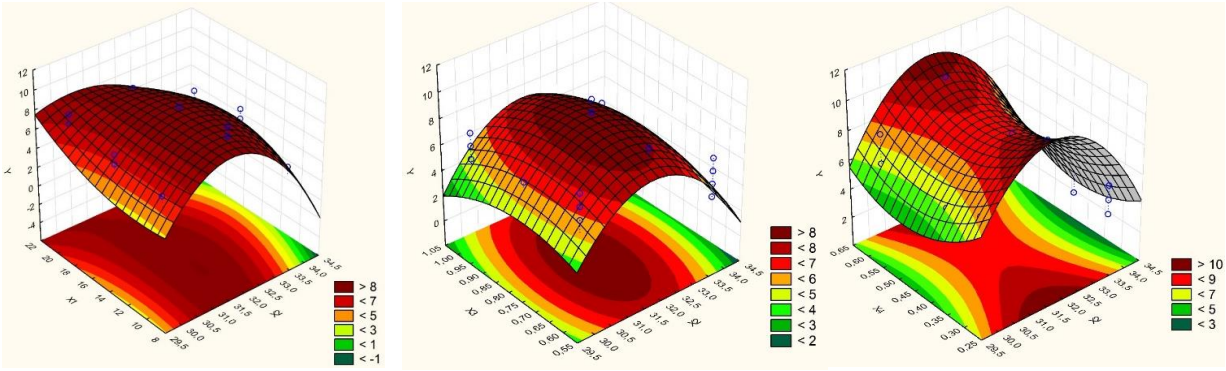
Figure 2 – Planning matrix and variance analysis

После реализации матрицы планирования второго порядка был проведён дисперсионный анализ в программе Statistica. Результаты анализа представлены на рисунке 2. Оценка значимости влияния выбранных факторов на качество 3D-печати с использованием критерия Фишера показала адекватность полученной модели второго порядка.

На основании полученных экспериментальных данных были построены трехмерные поверхности отклика, представленные на рисунке 5 (а,б,в).

В результате анализа трёхмерных поверхностей отклика, представленных на рисунке 3 (а,б,в), можно сделать вывод, что точность формируемой 3D-модели достигает 9–10 баллов (зона оптимума) при следующих параметрах: скорость подачи материала – 15 мм/с, температура печати – 32°C, диаметр сопла – 0,8 мм, высота слоя – 0,4 мм. Установлено, что самое большое влияние на точность формируемой 3D-модели оказывает фактор $\mathbf{X_2}$ – температура печати, °C.

Для установления количественных зависимостей между основными параметрами 3D-печати и реологическими характеристиками шоколадной глазури был проведен анализ процесса экструзии материала через цилиндрическое сопло 3D-принтера.



(а) (в) (б)

Рисунок 3 – Трёхмерные сечения поверхности отклика, характеризующие точность формируемой 3D модели: а) в зависимости от факторов X_1 (скорость подачи материала) и X_2 (температура печати) (при X_3 =0,8 мм и X_4 = 0,4 мм); б) в зависимости от факторов X_3 (диаметр сопла материала) и X_2 (температура печати) (при X_1 =15 мм/с и X_4 = 0,4 мм); в) в зависимости от факторов X_2 и X_4 (при X_1 =15 мм/с и X_3 =0,8 мм)

Figure 3 – Three-dimensional sections of the response surface that characterize the accuracy of the 3D model being formed: a) depending on factors X1 (material feed rate) and X2 (printing temperature) (at X3 =0.8 mm and X4 = 0.4 mm); b) depending on factors X3 (material nozzle diameter) and X2 (printing temperature) (at X1 =15 mm/s and X4 = 0.4 mm); c) depending on the factors X2 and X4 (at X1 =15 mm/s and X3 =0.8 mm)

Анализ показал, что скорость сдвига является определяющим фактором, влияющим на реологические свойства шоколадной глазури при заданных условиях печати. [5, 7]. Расчет скорости сдвига проводился по формуле:

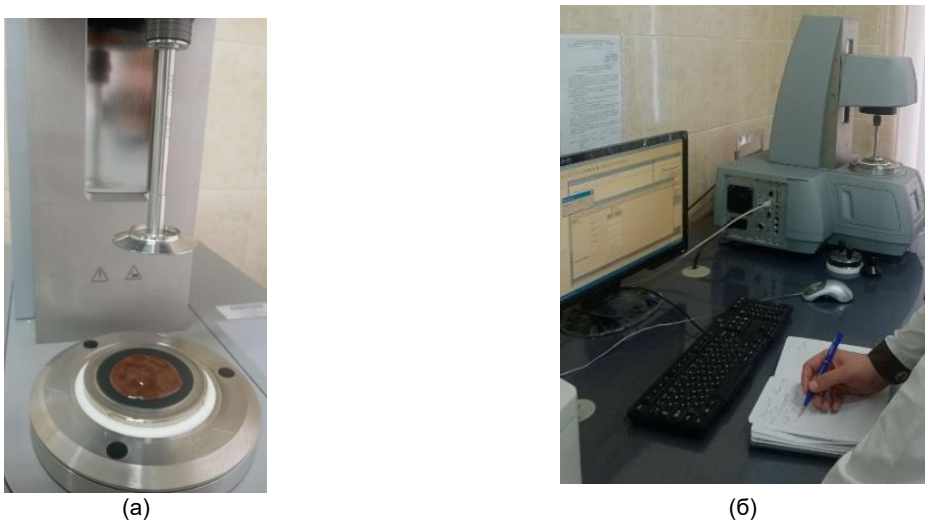
$$Y_{сдв} = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} \approx 150 \cdot c^{-1}, \quad (1)$$

где Q – объёмный расход, мм^3/с, d - диаметр сопла, мм.

Для измерения реологических свойств используемого образца шоколадной глазури использовали реометр Anton Paar Physica MCR 102 (Германия).

Экспериментальные исследования проводились с целью определения зависимости динамической вязкости от температуры при постоянной скорости сдвига. Динамическую вязкость измеряли при постоянной скорости сдвига 150 с$^{-1}$ в интервале температур от 44 до 28 ºС. Полученные результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 5.

Согласно данным, представленным на рисунке 5, динамическая вязкость шоколадной глазури изменяется в зависимости от температуры. В диапазоне температур 34–28 °С наблюдается нелинейное увеличение динамической вязкости с уменьшением температуры, что обусловлено физическими свойствами глазури и её переходом в более вязкое состояние. При температуре выше 33,6 °С значение динамической вязкости стабилизируется, что возможно связано с полным расплавлением глазури. По графику можно определить значение динамической вязкости, соответствующее оптимальным технологическим параметрам 3D-печати, установленным ранее. Для оптимальной температуры печати 32 °С динамическая вязкость составляет η = 6,5 Па·с. Данное значение выбрано на основании экспериментальных данных, показывающих, что при такой вязкости шоколадная глазурь обеспечивает наилучшее качество печати, включая равномерное нанесение и минимальную деформацию готового изделия.



(а) (б)

Рисунок 4 (а, б) – Определение реологических свойств шоколадной глазури на Реометр Anton Paar Physica MCR 102

Figure 4 – Determination of rheological properties of chocolate glaze on the Anton Paar Physica MCR 102 Rheometer

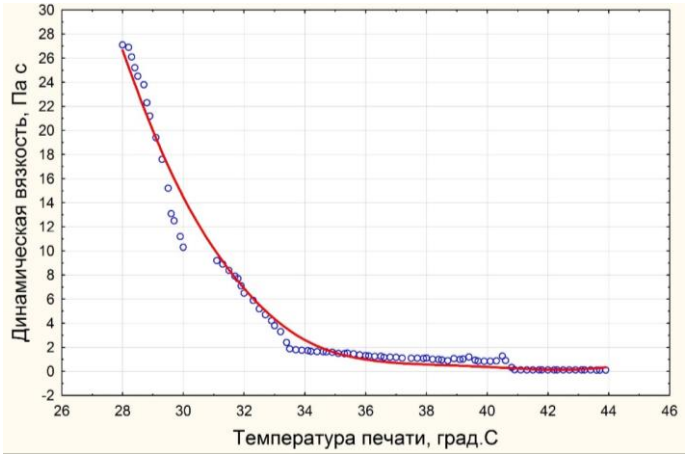


Рисунок 5 - Зависимость динамической вязкости шоколадной глазури от температуры при скорости сдвига 150 $с^{-1}$

Figure 5- Dependence of the dynamic viscosity of chocolate glaze on temperature at a shear rate of 150 s^{-1}

Полученные результаты позволяют рекомендовать температуру 32 °С и значение динамической вязкости η = 6,5 Па·с в качестве оптимальных параметров для 3D-печати шоколадной глазурью. Эти параметры обеспечивают стабильность процесса печати и качество готового изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе настоящего исследования был разработан универсальный способ подбора технологических параметров 3D-печати пищевых материалов, основанный на анализе их реологических характеристик. На примере шоколадной глазури Chocovic Adora (Бельгия) и пищевого принтера Wiiboox Sweetin (Китай) были выявлены основные зависимости между параметрами печати (скорость подачи, температура, диаметр сопла, высота слоя) и реологическими свойствами (динамическая вязкость), что позволило создать универсальный способ оптимизации процесса. Который позволяет прогнозировать оптимальные условия печати без проведения длительных экспериментов.

Таким образом, для определения оптимальных параметров 3D-печати других марок шоколадной глазури, в частности температуры печати, целесообразно определить их динамическую вязкость при постоянной скорости сдвига $\gamma_{сдв.} \approx 150с^{-1}$ в диапазоне температур 44–28 °С. По полученным данным необходимо выявить температуру, при которой динамическая вязкость достигает значения η = 6,5 Па·с. Данное значение выбрано на основании предварительных исследований, показавших, что оно обеспечивает наилучшее качество печати и стабильность процесса.

Следует отметить, что установленные технологические параметры печати, определены для конкретного 3D принтера и могут быть применимы только к шоколадной глазури. Однако полученные результаты формируют базу для будущих исследований, связанных с оптимизацией процесса 3D-печати другими пищевыми системами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов, А. В. Результаты экспериментальных исследований машины для обработки зерна / А. В. Анисимов // Аграрный научный журнал. 2019. № 11. С. 81-86. DOI 10.28983/asj. y2019i11pp81-86. EDN VGMUTL.

2. Анисимов, А. В. Экспериментальное определение оптимальных параметров оборудования для обработки зерна при подготовке к помолу / А. В. Анисимов, Ф. Я. Рудик // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29, № 4. С. 594-613. DOI 10.15507/2658-4123.029.201904.594-613. EDN CEQUQR.

3. Благовещенский В. Г. Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий: специальность 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Благовещенский Владислав Германович, 2021. 219 с. EDN RAAQHK.

4. Благовещенский, И. Г. Оптимизация 3D-печати на примере использования шоколадной глазури / И. Г. Благовещенский, Э. Д. Шибанов, К. А. Загородников // Пищевая промышленность. 2020. № 12. С. 70–73. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10147. EDN: ZZVVRE.

5. Влияние реологических характеристик на качество 3Д-печати пищевых паст / С. А. Бредихин, С. Т. Антипов, В. Н. Андреев, А. Н. Мартеха // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83, № 2(88). С. 40-47. DOI 10.20914/2310-1202-2021-2-40-47. EDN UOEZFC.

6. Исследование теплофизических и реологических свойств пищевых растительных масел / А.Н. Остриков [и др.] // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 36-43.

7. Каверина, Ю. Е. Моделирование гидродинамики потока пищевого материала в процессе экструзионной 3D-печати / Ю. Е. Каверина, В. В. Торопцев, А. Н. Мартеха // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2024. № 2-3(396). С. 60-66. DOI 10.26297/0579-3009.2024.2-3.10. EDN FSXROB.

8. Кизиева, А. С. Индустрия 4.0 в пищевой промышленности / А. С. Кизиева, О. С. Фоменко // Инновационные тенденции развития российской науки : Материалы XVI Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 29–31 марта 2023 года. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2023. С. 293-294. EDN GQOPFZ.

9. Министерство промышленности и торговли РФ. Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года. Москва: Минпромторг России, 2020. 45 с.

10. Родионова О. И., Алешков А. В., Синюков В. А. 3D-печать пищевой продукции как инновационная технология // Вестник Хабаровского государственного университета экономики и права. 2019. №. 2 (100). С. 119-124.

11. Спиридонов А. Б., Копысова Т. С., Волков М. Д. Пищевые 3D-принтеры // Технологические тренды устойчивого функционирования и развития АПК. 2021. С. 173-181.

12. Costa, K., M. Garcia, K. Ribeiro, M. Soares Junior, and M. Caliari. Rheological properties of fermented rice extract with probiotic bacteria and different concentrations of waxy maize starch. LWT - Food Science and Technology.2016. 72:71–7. doi: 10.1016/j.lwt.2016.04.01.

13. Dankar I., Haddarah A., Sepulcre F., Pujola M. Assessing mechanical and rheological properties of potato puree: Effect of different ingredient combinations and cooking methods on the feasibility of 3D printing. Foods. 2020;9(1):21. DOI: 10.3390/foods9010021.

14. Derossi A., Paolillo R., Caporizzi C., Severini C. Extending the 3D food printing tests at high speed. Material deposition and effect of non-printing movements on the final quality of printed structures. Journal of Food Engineering. 2020;275: 109865.DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109865.

15. Fan, H., M. Zhang, Z. Liu, and Y. Ye. Effect of microwave-salt synergetic pre-treatment on the 3D printing performance of SPI-strawberry ink system. LWT - Food Science and Technology. 2020. Vol. 122: 109004. doi: 10.1016/j.lwt.2019.109004.

16. Ferreira IA, Alves JL. Low-cost 3D food printing. Ciencia e Tecnologia dos Materials. 2017. Vol. 29. No. 1. P. e265–e269. Doi: 10.1016/j. ctmat.2016.04.007; Lanaro M, Desselle MR, Woodruff MA. 3D Printing Chocolate. Elsevier Inc., 2019.

17. García-Segovia P., García-Alcaraz V., Balasch-Parisi S., Martínez-Monzo J. 3D printing of gels based on xanthan/konjac gums. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2020; 64:102343. DOI: 10.1016/j.ifset.2020.102343.

18. Godoi, F. C., Prakash, S., Bhandari, B. R. 3D Printing Technologies Applied for Food Design: Status and Prospects // Journal of Food Engineering. 2016. Vol. 179. P. 44–54.

19. Hamet, M., J. Piermaria, and A. Abraham. Selection of EPS-producing Lactobacillus strains isolated from kefir grains and rheological characterization of the fermented milks. LWT - Food Science and Technology. 2015. Vol. 63 (1):129–35. doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.097.

20. Jan, R., D. Saxena, and S. Singh. Comparative study of raw and germinated Chenopodium (Chenopodium album) flour on the basis of thermal, rheological, minerals, fatty acid profile and phytocompo- nents. Food Chemistry. 2018.269:173–80. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.07.003

21. Koranne V. et al. Exploring properties of edible hydrolyzed collagen for 3D food printing of scaffold for biomanufacturing cultivated meat //Procedia CIRP.2022. T. 110.C. 186-191.

22. Liu, Y., T. Tang, S. Duan, Z. Qin, H. Zhao, M. Wang, C. Li, Z. Zhang, A. Liu, G. Han, et al. Applicability of rice doughs as promis- ing food materials in extrusion-based 3D printing. Food and Bioprocess Technology. 2020. Vol. 13 (3):548–63. doi: 10.1007/s11947-020-02415- y.

23. Liu, Y., W. Zhang, K. Wang, Y. Bao, J. Regenstein, and P. Zhou. 2019. Fabrication of gel-like emulsions with whey protein isolate using microfluidization: Rheological properties and 3d printing perform- ance. Food and Bioprocess Technology 12 (12):1967–79. doi: 10.1007/s11947-019-02344-5.

24. Liu, Z., Zhang, M., Yang, C. Effect of Rheological Properties on 3D Printing of Food Materials // Food Research International.2018. Vol. 111.P. 1–10.

25. Nijdam, J., D. Agarwal, and B. Schon. Assessment of a novel window of dimensional stability for screening food inks for 3D printing. Journal of Food Engineering. 2021. 292:110349. doi: 10.1016/j.jfoo-deng.2020.110349.

26. Park, S., H. Kim, and H. Park. Callus-based 3D printing for food exemplified with carrot tissues and its potential for innovative food production. Journal of Food Engineering. 202.Vol.271:109781. doi: 10.1016/j. jfoodeng.2019.109781

27. Sun, J., Peng, Z., Yan, L., Zhou, W., Liu, Y., & Wu, C. A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication // Procedia Manufacturing.2015. Vol. 1.P. 308–319.

Информация об авторах

А. В. Анисимов - кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

Н. Л. Моргунова - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

О. С. Фоменко - кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

Н. А. Семилет - кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

А. С. Кизиёва - кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

Information about the authors

A. V. Anisimov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov.

N. L. Morgunova - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov.

O. S. Fomenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov.

A. S. Kiziyeva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov".

N. A. Semilet - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology of the Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov".

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 39–38.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 39–38.

Обзорная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.006 EDN: GMVVTB

ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ АРАХИДОНОВОЙ КИСЛОТЫ И ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ МИКРООРГАНИЗМОВ В СОСТАВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ САХАРНОГО ДИАБЕТА ВТОРОГО ТИПА

Людмила Александровна Забодалова [1], Виктория Сергеевна Ильина [2]

[1, 2] Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», Санкт-Петербург, Россия
[1] lzabodalova@itmo.ru, https://orcid.org/0000-0002-2324-8311
[2] victoria.ilina@itmo.ru, https://orcid.org/0000-0002-6909-6819

Аннотация. *Проблема сахарного диабета становится все более актуальной в последние годы со значительным ростом числа людей, подверженных данному заболеванию. Ввиду отсутствия эффективных методов лечения данного заболевания особое внимание уделяется профилактике сахарного диабета 2 типа (СД2) с использованием функциональных пищевых продуктов. Среди функциональных ингредиентов, обладающих эффективностью при профилактике и облегчении симптомов СД2, арахидоновая кислота (АК) и пробиотические микроорганизмы отличаются высоким потенциалом, при этом сравнительно немного исследований посвящено изучению их противодиабетических эффектов.*

Введение АК в рацион способствует улучшению инсулиновой чувствительности и снижению уровня провоспалительных маркеров. АК, содержащаяся в продуктах животного происхождения и синтезируемая из линолевой кислоты, показала эффективность в исследованиях, где её использование нормализовало метаболические параметры у лабораторных животных. Применение пробиотиков способствует регулированию микробиоты кишечника и, как следствие, снижению воспаления за счет активной выработки метаболитов и регулированию гормональной функции, что также играет ключевую роль в профилактике СД2.

Анализ литературных данных показал потенциальную эффективность данных ингредиентов в отношении профилактики и терапии СД. Тем не менее, несмотря на существующие доказательства эффективности этих компонентов, дальнейшие исследования необходимы для экспериментального подтверждения перспективности их совместного использования в составе новых функциональных продуктов и ингредиентов. Это позволит не только улучшить профилактику метаболических заболеваний, таких как СД2, но и повысить качество жизни в различных группах населения.

Ключевые слова: *арахидоновая кислота, пробиотические штаммы микроорганизмов, сахарный диабет 2 типа, функциональные пищевые продукты.*

Благодарности: *Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 23-16-00243 «Разработка биоактивного функционального пищевого ингредиента на основе арахидоновой кислоты и пробиотических штаммов лактобактерий для профилактики сахарного диабета второго типа».*

Для цитирования: Забодалова Л. А., Ильина В. С. Потенциал применения арахидоновой кислоты и пробиотических штаммов микроорганизмов в составе функциональных пищевых продуктов для профилактики сахарного диабета второго типа // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 39–38. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.006. EDN: https://elibrary.ru/GMVVTB.

Original article

POTENTIAL USE OF ARACHIDONIC ACID AND PROBIOTIC STRAINS MICROORGANISMS IN FUNCTIONAL FOOD PRODUCTS FOR PREVENTION TYPE 2 DIABETES MELLITUS

Lyudmila A. Zabodalova [1], Victoria S. Ilina [2]

[1, 2] ITMO University, Saint-Petersburg, Russia
[1] lzabodalova@itmo.ru, https://orcid.org/0000-0002-2324-8311
[2] victoria.ilina@itmo.ru, https://orcid.org/0000-0002-6909-6819

Abstract. *The problem of diabetes mellitus has become increasingly important in recent years with a significant increase in the number of people affected by this disease. Due to the lack of effective treatments for this disease, special attention is being paid to the prevention of type 2 diabetes mellitus (T2DM) using functional foods. Among functional*

© Забодалова Л.А., Ильина В.С., 2026

ingredients with efficacy in preventing and alleviating symptoms of T2DM, arachidonic acid (AA) and probiotic microorganisms have high potential, with relatively few studies investigating their anti-diabetic effects.

The introduction of AA into the diet improves insulin sensitivity and reduces pro-inflammatory markers. AA contained in animal products and synthesized from linoleic acid has shown efficacy in studies where its use normalized metabolic parameters in laboratory animals. The use of probiotics helps to regulate the gut microbiota and, therefore, to reduce inflammation through the active production of metabolites and to regulate hormonal function, which also plays a key role in the prevention of T2DM.

Analyses of the literature have shown the potential efficacy of these ingredients with respect to the prevention and therapy of DM. However, despite the existing evidence of the efficacy of these ingredients, further research is needed to experimentally validate the prospect of their combined use in new functional foods and ingredients. This will not only improve the prevention of metabolic diseases such as T2DM but also improve the quality of life in different population groups.

Keywords: *arachidonic acid, probiotic strains of microorganisms, type 2 diabetes mellitus, functional foods*

Acknowledgments: *The work was supported by the Russian Science Foundation grant 23-16-00243 "Development of a bioactive functional food ingredient based on arachidonic acid and probiotic strains of lactobacilli for the prevention of type 2 diabetes mellitus"*

For citation: Zabodalova L. A. & Ilina V. S. (2025). Potential use of arachidonic acid and probiotic strains microorganisms in functional food products for prevention type 2 diabetes mellitus. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 39-38. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.006. EDN: https: //elibrary.ru/GMVVTB.

ВВЕДЕНИЕ

Сахарный диабет (СД) – это патология, связанная с рядом метаболических нарушений в организме, которая занимает далеко не последнее место среди «болезней цивилизации». СД определяется как группа метаболических заболеваний, характеризующихся хронической гипергликемией, которая является результатом нарушения секреции инсулина, действия инсулина или комбинации этих факторов. Хроническая гипергликемия при СД сопровождается повреждением и дисфункцией и различных органов, особенно глаз, почек, нервной системы, сердца и кровеносных сосудов [1].

Численность больных СД в мире за последние 10 лет увеличилась более, чем в 2 раза, и к концу 2021 года превысила 537 млн человек. Согласно прогнозам Международной диабетической федерации, к 2030 году число людей страдающих СД достигнет 643 млн человек, а к 2045 году – 783 млн человек. В Российской Федерации также отмечается значительный рост распространенности СД. По данным Федерального регистра СД в РФ на начало 2023 г состояло на диспансерном учете 4 962 762 человека (3,42 % населения), из которых 92,3 % (4 581 990 млн) приходилось на больных сахарным диабетом второго типа (СД2). Однако эти данные учитывают только выявленные и зарегистрированные случаи заболевания, то есть реальная цифра значительно больше – по результатам масштабного российского эпидемиологического исследования (NATION) 54 % случаев СД2 не было диагностировано [1].

Ввиду того, что методов лечения СД2 на данный момент в мире нет, существует потребность в профилактике этого заболевания у разных слоев населения посредством изменения качества питания. На данный момент исследований, направленных на нутритивную профилактику СД2 недостаточно, а диетотерапия, в основном, заключается в снижении содержания добавленных сахаров в продуктах питания и/или замещения их подсластителями и сахарозаменителями, такими как ксилит, сорбит, эритрит, стевиозид, цикламат и другие [2].

Повысить биологическую ценность рациона можно за счет внесения биологически активных в отношении профилактики СД2 компонентов в состав функциональных пищевых продуктов. В последние 15 лет во многих странах наблюдается устойчивый рост интереса к данной сфере [3]. В качестве возможных функциональных ингредиентов рассматриваются различные биоактивные компоненты – от полифенолов до полиненасыщенных жирных кислот [4]. На данный момент имеется достаточное количество данных об омега-3 жирных кислотах, однако мало внимания уделено потенциалу омега-6 жирных кислот, в частности биоактивной арахидоновой кислоте. Кроме того, имеются подтвержденные данные о потенциале использования пробиотиков в основе антидиабетического функционального ингредиента.

В данной обзорной статье приведены данные о возможности использования арахидоновой кислоты и пробиотических штаммов микроорганизмов для профилактики сахарного диабета 2 типа.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для поиска зарубежных научных источников по выбранной теме исследования проводился поиск информации, по ключевым словам, в библиографических базах данных «Google Scholar», «Scopus» и «Web of Science», для поиска отечественных источников – в «Google Scholar» и электронной библиотеке «Elibrary.ru». Приоритет отдавали часто цитируемым публикациям в высокорейтинговых журналах. Временные рамки выхода научных публикаций по теме исследования были определены периодом с 2014 по 2024 гг. При отсутствии новых публикаций по отдельным разделам исследуемой темы и для лучшего понимания фундаментальных исследований данной области были использованы более ранние научные и обзорные статьи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Состояние проблемы возникновения сахарного диабета

В отличие от сахарного диабета первого типа (СД1), для которого характерна недостаточная выработка инсулина в организме, при СД2 гормона вырабатывается достаточно, однако наблюдается невосприимчивость к нему клеток – инсулинорезистентность, что приводит к повышению уровня глюкозы в крови (хронической гипергликемии). Помимо этого, в этиологии метаболических нарушений, таких как СД2, ведущую роль играет развитие системного воспаления [5]. При ожирении повышается концентрация липополисахаридов (ЛПС) – компонентов клеточной стенки всех грамотрицательных бактерий, которые являются эндотоксинами и одними из самых мощных

индукторов воспаления [6]. При этом у людей с ожирением количество циркулирующих ЛПС увеличивается на 20 %, а у больных СД – на 125 % [7].

Прямая связь между высокожировой диетой, ведущей к ожирению, и повышением содержания ЛПС в плазме крови подтверждена в экспериментах на мышах, различных моделях СД2 и при обследовании людей, страдающих ожирением и СД2 [8]. В организме человека ЛПС стимулирует выработку провоспалительных цитокинов: ряда интерлейкинов (ИК) – ИК-1, ИК-6, и фактора некроза опухоли-α (ФНО- α) [9]. Эти изменения приводят к развитию хронического системного воспаления и, как следствие, снижению чувствительности к инсулину, усилению липогенеза в печени, активации воспаления в жировой ткани [10]. Однако не все жиры и жирные кислоты оказывают одинаковое физиологическое воздействие на организм человека. Известен ряд полиненасыщенных кислот, обладающих биологической активностью в отношении ряда неинфекционных заболеваний, в том числе СД2 [11]. В последние годы особый интерес вызывает арахидоновая кислота.

2. Арахидоновая кислота и ее профилактический потенциал в отношении СД

Арахидоновая кислота (АК) — это омега-6 полиненасыщенная жирная кислота (ПНЖК), встречающаяся в основном в форме фосфолипидов в цитозоле клеток, прилегающих к мембране эндоплазматического ретикулума, содержащей белки, необходимые для синтеза фосфолипидов и их распределения по различным биологическим мембранам. Когда клетка находится в состоянии стресса, АК может высвобождаться из фосфолипидов под действием ферментов [12].

В организм человека АК поступает преимущественно из пищевых продуктов животного происхождения, таких как птица, органы и мясо животных, сало, рыба, морепродукты и яйца. АК содержится в большинстве продуктов животного происхождения, однако содержание АК умеренное, <200 мг на 100 г этих продуктов, что показывает широкое распространение, но невысокое содержание АК в основных продуктах животного происхождения (мясо, птица, яйца, рыба и молочные продукты). Стандартным потреблением АК является 100–250 мг/сут в развитых странах, в то время как в развивающихся странах с недостаточным потреблением продуктов животного происхождения потребление может не превышать 100 мг/сут [13].

АК участвует в цикле Лэндса, цикле реацилирования/деацилирования мембранных фосфолипидов, который служит для поддержания концентрации свободной АК в клетках на очень низком уровне. Поскольку АК является основополагающим компонентом структуры клетки, она особенно необходима в период развития и роста, а также при серьезных или обширных повреждениях и травмах клеток. Так, наблюдается высокое ее содержание в женском грудном молоке – средние уровни АК в человеческом грудном молоке, измеренные на различных стадиях лактации от 26 до 40 недель, составляют от 0,21 до 0,71 % [14].

Другим источником АК, важным для вегетарианцев, является омега-6 линолевая кислота. Линолевая кислота является незаменимой жирной кислотой для животных, поскольку они не могут синтезировать ее, в отличие от растений, которые могут синтезировать ее из олеиновой кислоты. Линолевая кислота в изобилии содержится во многих орехах, жирных семенах и их производных растительных маслах. В цитозоле животных клеток она преобразуется в АК, докозатетраеновую кислоту (22:4ω-6) и другие жирные кислоты путем поэтапной десатурации и удлинения цепи. Однако конверсия линолевой кислоты в АК низкая. Линолевая кислота легко окисляется дельта-6-десатуразой до γ-линоленовой кислоты (18:3-n6), но несколько факторов, таких как старение, несбалансированное питание, курение, ухудшают активность фермента.

Снижение концентрации АК в сыворотке является предшественником инсулинорезистентности, и по данным клинических исследований концентрация АК в сыворотке пациентов с СД2 значительно снижена. Исследования *in vitro* показали, что АК может способствовать утилизации глюкозы мышечными клетками и поглощению глюкозы адипоцитами. Так, в работе [15] описывают исследования *in vitro*, показывающие, что АК может улучшить способность β-клеток поджелудочной железы секретировать инсулин. В исследовании [16] отмечено, что у мужчин содержание в сыворотке крови АК отрицательно коррелирует с риском возникновения СД. Кроме того, у новорожденных детей, которых кормили грудью более трех месяцев, была зарегистрирована более низкая заболеваемость СД1, так как грудное молоко человека богато различными ПНЖК, особенно АК [17].

При СД определенные концентрации АК действуют как сильный индуктор секреции инсулина, но вклад ее метаболитов в инсулинорезистентность зависит от вовлеченных клеток и тканей [18]. АК может преобразовываться в лейкотриены и липоксины [19], таким образом широко участвуя в различных физиологических и патологических процессах.

Чтобы использовать АК в чистом виде в качестве потенциального противодиабетического средства, ее необходимо производить в больших количествах. АК является нестабильным соединением из-за наличия в ее структуре четырех двойных связей из-за чего она более подвержена перекисному окислению. Следовательно, необходимо исследовать другие источники АК, такие как масла, содержащие ее в значительных количествах. Одним из примеров является масло ARASCO – богатый источник (~ 40 %) АК, полученных из культуры почвенного гриба *Mortierella alpine*. В одном исследовании сообщалось о влиянии добавления этого масло крысам с индуцированным диабетом [20]. Диабет, вызванный диетой с высоким содержанием жиров и токсическим стрептозотоцином (СТЗ), вызвал окислительный стресс, увеличил уровни ИК-6 и ФНО-α в плазме и усилил экспрессию транскрипционного фактора NF-κB, что привело к слабовыраженному системному воспалению в дополнение к гипергликемии и гиперинсулинемии. Все эти отклонения вернулись к почти нормальным значениям у животных, которым в рацион вводили масло ARASCO. Примечательно, что животные, получавшие масло ARASCO, показали повышение уровня липоксина А4 в плазме, что предполагает значительное противовоспалительное действие АК, которое может лежать в основе его терапевтического действия при СД [21].

Несмотря на то, что АК присутствует в рационе человека, ее может быть недостаточно для нужд организма, поскольку большая ее часть может быть разрушена или деградирована. Во время хранения продуктов питания и пищевого сырья, приготовления пищи и других процессов более 90 % АК может быть инактивировано. В связи с этим ткани организма зависят от эндогенного образования АК из ее предшественника линоленовой кислоты (ЛК). Здесь следует отметить, что существует два вида – линоленовая и

α-линоленовая кислота. Как ЛК, так и α-ЛК широко распространены в нашем рационе, и, следовательно, их дефицит маловероятен. Несмотря на то, что ЛК и α-ЛК необходимы для жизнедеятельности, некоторые их действия обусловлены их длинноцепочечными метаболитами, такими как гамма-линоленовая кислота (ГЛК), дигомо-ГЛК, АК (полученные из линоленовой кислоты), эйкозапентаеновая кислота (ЭПК) и докозагексаеновая кислота (ДГК) (полученные из α-ЛК) [22].

Липооксигеназа ALOX15 в организме человека широко представлена в эозинофилах, макрофагах, бронхиальных эпителиальных клетках и коже и может преобразовывать ЛК, АК и другие ПНЖК в активные липидные метаболиты, тем самым влияя на структуру клеток, метаболизм и передачу сигнала. Липоксины, один из продуктов окисления липооксигеназой ALOX15 ряда незаменимых ПНЖК, оказывают значительное противовоспалительное действие. Текущие исследования показали, что при дефиците АК снижается образование липоксина А4, что в итоге приводит к дисфункции β-клеток поджелудочной железы и возникновению СД [23]. В моделях СД2, вызванных СТЗ, пероральный прием АК может ингибировать выработку ИК-6 и ФНО-α, а ингибирование выработки липоксина А4, вызванное СТЗ, возвращается к норме, тем самым полностью предотвращая гипергликемию и улучшая чувствительность к инсулину [23]. Достаточное количество АК может способствовать образованию липоксина А4, который является мощным противовоспалительным соединением и может противодействовать провоспалительному эффекту лейкотриенов [24]. При СД2 АК возвращает плазменные уровни ИК-6 и ФНО-α к нормальным значениям, что может быть ответственно за возвращение чувствительности к инсулину к норме [23]. Следует отметить, что другие ненасыщенные жирные кислоты: ГЛК, ЭПК и ДГК также продемонстрировали цитопротекторное действие *in vitro* против β-цитотоксичности поджелудочной железы при СД1 и СД2, вызванных аллоксаном и СТЗ у экспериментальных животных, хотя их эффекты намного слабее, чем у АК.

Исследования АК в последние годы были сосредоточены на биологических аспектах, однако, мало внимания уделялось потреблению с пищей и клиническим эффектам самой АК у взрослых людей, хотя знания о важности потребления АК в области детского питания достаточно обширны [25, 26, 27]. Исследования доказывают эффективность введения АК в качестве препарата в области когнитивного внимания и памяти, расстройств настроения, кровообращения и цирроза, однако необходимы дальнейшие исследования для понимания эффективности потребления АК с точки зрения питания.

3. Пробиотические штаммы микроорганизмов и их профилактический потенциал в отношении СД

В настоящее время считается, что микробиота кишечника играет важную роль в патобиологии СД. Предполагается, что увеличение заболеваемости СД в последние десятилетия может быть связано с изменениями в микробном составе ЖКТ человека. Некоторые из диетических компонентов, таких как сахар, жир или клетчатка, влияют и определяют, какие виды микробов преобладают в кишечнике. Микробиота кишечника играет решающую роль в регуляции выработки гормона серотонина, поскольку она может усиливать биосинтез серотонина из энтерохромаффинных клеток толстой кишки, которые транспортируют серотонин в слизистую оболочку. И ацетат, и бутират, короткоцепочечные жирные кислоты, вырабатываемые кишечной микробиотой, определяют выработку серотонина в кишечнике и, таким образом, регулируют пролиферацию и функционирование β-клеток поджелудочной железы [22].

В метагеномном исследовании жителей Китая с СД2 было подтверждено 60000 маркеров, связанных с СД2, и все они коррелировали с дисбиозом кишечника, снижением количества бактерий, продуцирующих бутират, и увеличением окислительного стресса [28]. Таким образом, дисбактериоз в кишечнике может являться фактором риска развития СД2.

По определению Всемирной организации здравоохранения, пробиотики — это «живые микроорганизмы, которые, будучи примененными в адекватных количествах, улучшают здоровье организма-хозяина». Согласно ГОСТ 52349-2005 пробиотик — это функциональный пищевой ингредиент в виде полезных для человека непатогенных и нетоксикогенных живых микроорганизмов, обеспечивающий при систематическом употреблении в пищу в виде препаратов или в составе пищевых продуктов благоприятное воздействие на организм человека в результате нормализации состава и (или) повышения биологической активности нормальной микрофлоры кишечника.

Молочнокислые, пропионовокислые бактерии, термофильный стрептококк и некоторые штаммы дрожжей обладают широким спектром полезного действия на организм человека. В частности, они способны нормализовать и стабилизировать состав микробиоты кишечника, угнетать рост патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, вырабатывать антимикробные соединения (короткоцепочечные жирные кислоты, бактериоцины, перекись водорода, окись азота и др.), а также низкомолекулярные питательные вещества, антиоксиданты, факторы роста, ферменты и прочие биологически активные соединения, которые влияют на обмен веществ в организме и участвуют в функционировании различных его органов и систем. Пробиотики характеризуются также антиаллергическим, антидиабетическим и противовоспалительным действием [29, 30, 31].

Представленные в работе [32] сравнительные исследования влияния четырех штаммов бифидобактерий (*B. bifidum* L66-5, L75-4, M13-4 и FS31-12), полученных из кишечника здорового человека, на ожирение у крыс, вызванное диетой с высоким содержанием жира, показали, что все штаммы способны снижать уровень триглицеридов в сыворотке и печени и значительно уменьшать отложение липидов в печени. У всех исследованных штаммов была выявлена тенденция к снижению общего холестерина в сыворотке и печени, которая более выражена у B. L66-5 и B. FS31-12. Значительных различий в изменении содержания сывороточного инсулина и глюкозы между исследуемыми штаммами не установлено.

Микробиота кишечника находится в тесных отношениях с макроорганизмом хозяина и, функционируя через продуцирование большого количества низкомолекулярных соединений, способна специфически реагировать на его сигналы и стабилизировать состояние его здоровья, либо в случае дисбиоза индуцировать те или иные функциональные нарушения [33].

В.М. Бондаренко и О.В. Рыбальченко, анализируя профилактическое и лечебное действие пробиотических препаратов с позиций новых научных технологий, отмечают, что пробиотическая концепция является на сегодняшний день ведущей при назначении

бактерийных препаратов. При этом наибольшую эффективность в клинической практике демонстрируют лекарственные препараты и биологически активные добавки к пище на основе комбинаций нескольких видов или штаммов пробиотических микроорганизмов, обладающих широким спектром антагонистической активности в отношении условно патогенных бактерий и грибов [34].

Целесообразность применения многовидовых или многоштамовых пробиотических препаратов при лечении метаболических заболеваний и, в частности, СД2, подтверждается рядом клинических исследований. При монотерапии многоштаммовой пробиотической добавкой Ecologic®Barrier, содержащей $2{,}5\times10^9$ КОЕ/г микроорганизмов (штаммы: *Bifidobacterium bifidum* W23, *Bifidobacterium lactis* W52, *Lactobacillus acidophilus* W37, *Lactobacillus brevis* W63, *Lactobacillus casei* W56, *Lactobacillus salivarius* W24, *Lactococcus lactis* W19 и *Lactococcus lactis* W58), дважды в день в течение 6 месяцев у больных СД2 наблюдалось значительное снижение инсулинорезистентности (64,2 %) и улучшение кардиометаболических параметров (глюкоза, инсулин, с-пептид, показатели липидного профиля и воспалительные маркеры) [35]. В другом исследовании [36] доказано, что потребление многоштаммовой пробиотической добавки Ecologic®Barrier в течение 12 недель благоприятно изменило метаболизм глюкозы, липидный профиль, висцеральный жир, уровень мочевой кислоты в сыворотке и концентрацию ЛПС у страдающих ожирением женщин в постменопаузе.

В работе [37] исследовалось влияние многоштаммовой пробиотической добавки на метаболические профили, С-реактивный белок и окислительный стресс у пациентов с СД. Пятьдесят четыре пациента в возрасте 35–70 лет с СД получали в течение 8 недель добавку, состоящую из 7 лиофилизированных штаммов: *Lactobacillus acidophilus* (2×10^9 КОЕ), *Lactobacillus casei* (7×10^9 КОЕ), *Lactobacillus rhamnosus* ($1{,}5\times10^9$ КОЕ), Lactobacillus *bulgaricus* (2×10^8 КОЕ), *Bifidobacterium breve* (2×10^{10} КОЕ), *Bifidobacterium longum* (7×10^9 КОЕ), *Streptococcus thermophilus* ($1{,}5\times10^9$ КОЕ) и 100 мг фруктоолигосахарида. В результате многоштаммовая пробиотическая добавка в течение 8 недель предотвратила рост уровня глюкозы в плазме натощак, привела к снижению уровня С-реактивного белка в сыворотке и увеличению общего глутатиона в плазме у пациентов с диабетом по сравнению с плацебо. В исследовании [38] отмечается, что применение многоштаммового пробиотического препарата, содержащего бактерии рода *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*, выявило небольшое улучшение показателя гликированного гемоглобина и инсулина натощак у людей с СД2, остальные показатели (липидный профиль, артериальное давление и высокочувствительный С-реактивный белок) не имели значимых различий.

Исследование влияния кисломолочных продуктов, содержащих пробиотики, на прогрессирование СД, индуцированного СТЗ или высоким содержанием фруктозы у крыс, показало, что диета с добавлением пробиотического продукта задерживает развитие гипергликемии, дислипидемии и окислительного стресса [39, 40]. В работе [41] при изучении антидиабетического влияния пробиотического йогурта, содержащего *Lactobacillus acidophilus* и *Bifidobacterium lactis*, отмечено снижение общего холестерина и липопротеидов низкой плотности у людей с СД2, что может способствовать снижению факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний. В других работах [42, 43] показано, что потребление 300 г пробиотического йогурта в день в течение 6-8 недель снижало уровень глюкозы в крови натощак, содержание гликированного гемоглобина, некоторых воспалительных маркеров у пациентов с СД 2 и улучшало их антиоксидантный статус.

4. Технологические решения целевой доставки антидиабетических биологически активных компонентов

Современная пищевая промышленность широко использует биологически активные вещества (БАВ) и компоненты, в том числе при производстве функциональных продуктов питания. Использование чистых БАВ в пищевых продуктах осложняется тем, что они способны терять свои свойства в ходе технологических процессов и хранения. Для повышения эффективности используемых БАВ применяются различные методы их целевой доставки.

Инкапсулирование является широко используемым и хорошо зарекомендовавшим себя методом [44]. Доставка БАВ осуществляется путем создания матрицы-носителя, как правило, полимерного материала. В зависимости от типа БАВ, материала-носителя и параметров использования могут применяться различные варианты системы доставки.

Инкапсулирование позволяет не только сохранить БАВ при обработке и хранении в составе пищевого продукта, но также осуществлять целевую доставку БАВ. В зависимости от выбранного способа инкапсулирования и применяемых материалов матрицы можно контролировать высвобождение БАВ в нужном отделе ЖКТ. Таким образом, появляется потребность в подтверждении биодоступности БАВ *in vitro* и *in vivo*.

Существует множество способов формирования микро- и нанокапсул, включая распылительную и сублимационную сушку, покрытие в псевдоожиженном слое, экструзию и со-экструзию, многоступенчатую центробежную экструзию, молекулярное включение, межфазную полимеризацию, коацервацию, липосомальное включение и другие. Все эти методы могут быть применены для разработки функциональных пищевых ингредиентов и пищевых продуктов функционального назначения [45, 46, 47, 48].

Известен способ получения нанокапсул с экстрактом листьев шелковицы, *Pueraria Lobata* и рутином, средний размер которых составляет 120 нм, методом диффузии растворителя/восстановлением *in situ*. Инкапсулируемые БАВ могут ингибировать α-глюкозидазу, стимулировать выделение инсулина, модулировать кишечную микрофлору, усиливать использование глюкозы и активировать β-клетки островков. Эффективность инкапсулирования составляла не менее 89 %. Разработанный способ инкапсулирования показал хорошую физиологическую стабильность и медленное высвобождение, а также усиление гипогликемического эффекта, наблюдаемое у видов крыс Goto-Kakizaki и Sprague–Dawley в модели *in vivo* [49].

Методом нанопреципитации были получены наночастицы с маслом семян *Phoenix dactylifera* L. размером 207 нм. Наночастицы продемонстрировали лучшее ингибирование α-амилазы и α-глюкозидазы по сравнению с неинкапсулированным маслом. Эффективность инкапсулирования составила 97 % и были достигнуты следующие результаты: улучшенная стабильность, контролируемое и замедленное высвобождение для целевой доставки, улучшенная биодо-

ступность и эффективность биоактивных соединений, а также антидиабетическая активность за счет ингибирования ферментов [50].

При инкапсулировании бетанина методом тонкослойной гидратации с ультразвуком в нанолипосомы были получены частицы размером 36 нм. Инкапсулированный бетанин был более эффективным, чем свободный, в регулировании гипергликемии, гиперлипидемии и окислительного стресса у крыс с диабетом, вызванным стрептозотоцином. Инкапсулирование обеспечило профиль медленного высвобождения в имитированных пищеварительных жидкостях [51].

Микрокапсулирование коаксильным электрораспылением было использовано для создания частиц на основе зеина и АК, при этом диаметр капсул варьировал от 1 до 7 мкм. Морфология микрокапсул контролировалась с помощью параметров электрораспыления, а АК был централизован в ядре. Быстрое окисление АК за счет наличия двойных связей в структуре молекулы было нивелировано, АК в микрокапсулах обладала улучшенной окислительной стабильностью, что снижало риск прогоркания и возникновения неприятного запаха. Предложенный способ инкапсулирования несмешивающихся материалов может расширить возможности использования микрокапсул в качестве обогатителей пищевых продуктов в пищевой промышленности [52].

Была исследована возможность микроинкапсулирования масла с высоким содержанием АК методом распылительной сушки с использованием различных материалов стенок. В качестве материалов стенок использовались сывороточный белок (С), сывороточный белок-глюкоза (СГ) и сывороточный белок-глюкозный сироп-лактоза (СГЛ). Результаты показали, что более высокая эффективность инкапсулирования достигалась с использованием СГЛ в качестве материала стенки и составила 98,64 %, а растворимость инкапсулированной в СГЛ АК достигла 89,83 %. Ввиду возможности быстрого окисления АК были исследованы перекисные числа – в случае СГЛ они были значительно ниже, чем у С и СГ ($P < 0,05$), что указывает на более высокую окислительную стабильность СГЛ. Результаты исследования масла АК в процессе хранения ускоренным методом показало, что инкапсулирование в СГЛ улучшило окислительную стабильность АК при 25 ℃ и 50 ℃ [53].

Для смесей масел с незаменимыми ω6/ω3 полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК) использовались технологии нано- и микроинкапсулирования, чтобы сохранить и улучшить их свойства, а также сделать их доступными в виде порошка для последующего использования в составе пищевых продуктов. Диаметр полученных микрокапсул варьировал от 198,5 до 824,87 нм. Лучшая эффективность инкапсулирования была получена для капсул, содержащих микрофлюидизированные и высушенные распылительной сушкой порошки, которые также показали самую высокую эмульсионную и окислительную стабильность от 0 до 15 дней при 55 ℃. Микроинкапсулирование повысило окислительную стабильность, термическую стабильность, срок годности и биологическую активность масел. Инкапсулирование также обеспечивает биодоступность масел, поскольку в наномасштабных системах доставки она дополнительно усиливает клеточное усвоение: процент высвобождения жирных кислот для образцов капсул с различными покрытиями в процессе кишечного пищеварения варьировал от 22 до 30 %. Кроме того, она также может быть полезна для контроля летучести масел [54].

Разнообразие методов получения и материала матриц позволяет инкапсулировать БАВ различной природы: водо- и спирторастворимые, жирорастворимые, а также нерастворимые, к которым и относятся микроорганизмы. Однако способы наноинкапсулирования бактериальных клеток, в том числе пробиотических микроорганизмов, затруднены ввиду их размера (от 0,5 до 5 мкм). Так, для инкапсулирования бактерий более эффективным является микроинкапсулирование.

Была разработана технология получения пробиотического мясного полуфабриката с инкапсулированной культурой *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG. Инкапсулированный ингредиент был получен экструзионным методом с использованием альгината кальция в качестве носителя. Выживаемость *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG в инкапсулированной форме после термической обработки полученного полуфабриката составила 59 ± 2 %, а итоговое количество жизнеспособных бактерий обеспечивало пробиотическую активность данного продукта [55].

Для поддержания количества жизнеспособных клеток *Lactobacillus acidophilus* LA-5 свыше 10^6 КОЕ/г в течение всего срока годности йогурта бактерии инкапсулировали распылительной сушкой с использованием смеси сывороточного белка и гуммиарабика в качестве носителя. Оптимальные условия обеспечили максимальную эффективность инкапсулирования 93,95 % и максимальную эффективность производства 48,36 %. После воздействия имитированных желудочно-кишечных условий микрокапсулы, полученные в оптимальных условиях, обеспечили лучшую защиту *Lactobacillus acidophilus* по сравнению со свободными клетками, со снижением количества жизнеспособных клеток в среднем на 10,84 % и 24,54 %, соответственно. Средний размер частиц микрокапсул составил 6 мкм, что приемлемо для включения в молочные и другие пищевые продукты [56].

Была проанализирована жизнеспособность *Lactobacillus acidophilus*, инкапсулированных в частицы альгината кальция с многослойным покрытием. Полученная эффективность инкапсулирования была выше 80 % во всех многослойных обработках, в то время как диаметр варьировал от 107 мкм до 222 мкм. В тестах на термостойкость многослойные частицы способствовали лучшей защите пробиотических культур по сравнению со свободными клетками, которые не выдержали тестируемых условий. Хранение до 120 дней при температурах охлаждения и замораживания было более эффективным для всех типов микрочастиц по сравнению со свободными клетками. Результаты показывают, что получение многослойных микрочастиц представляет собой эффективный метод улучшения жизнеспособности пробиотиков во время хранения, термической обработки и в условиях желудочно-кишечного тракта *in vitro* [57].

Авторами был разработан способ получения функционального пищевого ингредиента, содержащего пробиотические штаммы микроорганизмов *Bifidobacterium bifidum*, *Lactobacillus plantarum* и *Lacticaseibacillus rhamnosus,* в виде экструзионно инкапсулированных в альгинат натрия микрокапсул. При этом эффективность инкапсулирования была выше 90 %, была отмечена высокая выживаемость микроорганизмов в исследовании биодоступности *in vitro*, а также при хранении в составе функционального пищевого продукта [58].

Совместное использование АК и пробиотиче-

ских штаммов микроорганизмов в инкапсулированной форме для профилактики СД2 не исследовано и не представлено в литературе, и представляет научный и практический интерес.

ВЫВОДЫ

СД2 – заболевание, которое развивается постепенно, иногда годами, проходя ряд стадий нарушения толерантности к глюкозе, поэтому диабетические риски можно выявить задолго до появления первых клинических симптомов болезни. Современные тенденции в лечении СД2 предусматривают его раннюю диагностику, поскольку имеется реальная возможность путем первичной профилактики предотвратить развитие или значительно отдалить возникновение заболевания [59, 60].

Анализ результатов исследований зарубежных и отечественных ученых свидетельствует о том, что для направленной коррекции, а также профилактики метаболических нарушений, имеющих место при СД2, целесообразно использовать продукты с доказанными гипогликемическими, противовоспалительными и антиоксидантными свойствами.

Создание средств нутритивной профилактики СД2 путем разработки функциональных пищевых ингредиентов и продуктов с их использованием является актуальным и перспективным.

Масштабность задачи определяется недостаточной представленностью методов профилактики СД2, а также функциональных пищевых продуктов для его профилактики.

Согласно приведенным выше данным, АК и пробиотические штаммы микроорганизмов продемонстрировали свой потенциал как эффективное средство профилактики СД2 не только сами по себе, но и за счет образования различных метаболитов, позволяющих снизить риск возникновения СД2 за счет воздействия на определенные звенья его патогенеза. Однако совместное их применение в составе функционального пищевого ингредиента (ФПИ) с доказанной профилактической активностью в отношении СД2 предполагает проведение комплекса дальнейших исследований, в частности, доклинический анализ эффективности профилактического действия ФПИ на экспериментальной модели СД2 с привлечением лабораторных животных; определение технологических параметров получения ФПИ (включая капсулирование), обеспечивающих сохранность биологической активности АК и выживаемость пробиотических микроорганизмов в процессе производства, хранения и дальнейшего использования ФПИ в составе функционального пищевого продукта, а также в процессе пищеварения; определение характеристик ФПИ и сроков его годности.

ФПИ на основе АК и пробиотических штаммов микроорганизмов может использоваться в рационе как самостоятельно, так и в составе продуктов, предназначенных для профилактики СД2 - социально значимого заболевания, которое, по данным эпидемиологических исследований, приобрело в настоящее время характер пандемии.

Можно предположить, что предлагаемый подход будет способствовать улучшению состояния здоровья и повышению качества жизни значительной группы населения страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дедов И. И. и др. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом/Под редакцией ИИ Дедова, МВ Шестаковой, АЮ Майорова. 11-й выпуск //Сахарный диабет. 2023. Т. 26. №. 2S. С. 1-157.

2. Klebanova E. M. et al. Lipid reducing and antioxidant action of mexicor in patients with diabetes mellitus type 2. 2006. Т.78. № 8. С. 67-70.

3. Wiyono N. et al. Exploring the therapeutic potential of functional foods for diabetes: A bibliometric analysis and scientific mapping //Narra J. 2024. Т. 4. №. 1.

4. Alkhatib A. et al. Functional foods and lifestyle approaches for diabetes prevention and management //Nutrients. 2017. Т. 9. №. 12. С. 1310.

5. Кузнецова Э. Э., Горохова В. Г., Богородская С. Л. Микробиота кишечника. Роль в развитии различных патологий //Клиническая лабораторная диагностика. 2016. Т. 61. №. 10. С. 723-726.

6. Clarke G. et al. Minireview: gut microbiota: the neglected endocrine organ //Molecular endocrinology. 2014. Т. 28. №. 8. С. 1221-1238.

7. Покровская Е. В., Шамхалова М. Ш., Шестакова М. В. Новые взгляды на состояние кишечной микробиоты при ожирении и сахарном диабете 2 типа //Сахарный диабет. 2019. Т. 22. №. 3. С. 253-262.

8. Creely S. J. et al. Lipopolysaccharide activates an innate immune system response in human adipose tissue in obesity and type 2 diabetes //American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism. 2007. Т. 292. №. 3. С. E740-E747.

9. Tseng C. H., Wu C. Y. The gut microbiome in obesity //Journal of the Formosan Medical Association. 2019. Т. 118. С. S3-S9.

10. Айтбаев К. А., Муркамилов И. Т. Ожирение и метаболический синдром: патофизиологическая роль кишечной микробиоты и потенциальные возможности альтернативной терапии //Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2017. Т. 6. №. 3. С. 120-130.

11. Bathina S., Das U. N. PUFAs, BDNF and lipoxin A4 inhibit chemical-induced cytotoxicity of RIN5F cells in vitro and streptozotocin-induced type 2 diabetes mellitus in vivo //Lipids in health and disease. 2019. Т. 18. С. 1-25.

12. Tallima H., El Ridi R. Arachidonic acid: physiological roles and potential health benefits–a review //Journal of advanced research. 2018. Т. 11. С. 33-41.

13. Forsyth S., Gautier S., Salem Jr N. Global estimates of dietary intake of docosahexaenoic acid and arachidonic acid in developing and developed countries //Annals of Nutrition and Metabolism. 2016. Т. 68. №. 4. С. 258-267.

14. Salem Jr N., Van Dael P. Arachidonic acid in human milk //Nutrients. 2020. Т. 12. №. 3. С. 626.

15. Dixon G. et al. Arachidonic acid, palmitic acid and glucose are important for the modulation of clonal pancreatic β-cell insulin secretion, growth and functional integrity //Clinical science. 2004. Т. 106. №. 2. С. 191-199.

16. Wu B. et al. The arachidonic acid metabolism protein-protein interaction network and its expression pattern in esophageal diseases //American journal of translational research. 2018. Т. 10. №. 3. С. 907.

17. Grzywa M. A., Sobel A. K. Incidence of IDDM in the province of Rzeszow, Poland, 0-to 29-year-old age-group, 1980–1992 //Diabetes Care. 1995. Т. 18. №. 4. С. 542-544.

18. Luo P., Wang M. H. Eicosanoids, β-cell function, and diabetes //Prostaglandins & other lipid mediators. 2011. Т. 95. №. 1-4. С. 1-10.

19. Yates C. M., Calder P. C., Rainger G. E. Pharmacology and therapeutics of omega-3 polyunsaturated fatty acids in chronic inflammatory disease //Pharmacology & therapeutics. 2014. Т. 141. №. 3. С. 272-282.

20. Kikukawa H. et al. Arachidonic acid production by the oleaginous fungus Mortierella alpina 1S-4: A review //Journal of advanced research. 2018. Т. 11. С. 15-22.

21. Gundala N. K. V., Das U. N. Arachidonic acid–rich ARASCO oil has anti-inflammatory and antidiabetic actions against streptozotocin+ high fat diet induced diabetes mellitus in Wistar rats //Nutrition. 2019. Т. 66. С. 203-218.

22. Das U. N. Arachidonic acid in health and disease with focus on hypertension and diabetes mellitus: A review //Journal of advanced research. 2018. Т. 11. С. 43-55.

23. Gundala N. K. V., Naidu V. G. M., Das U. N. Amelioration of streptozotocin-induced type 2 diabetes mellitus in Wistar rats by arachidonic acid //Biochemical and Biophysical Research Communications. 2018. Т. 496. №. 1. С. 105-113.

24. Tan Y. Q. et al. Host/microbiota interactions-derived tryptophan metabolites modulate oxidative stress and inflammation via aryl hydrocarbon receptor signaling //Free Radical Biology and Medicine. 2022. Т. 184. С. 30-41.

25. Tounian P., Bellaïche M., Legrand P. ARA or no ARA in infant formulae, that is the question //Archives de Pédiatrie. 2021. Т. 28. №. 1. С. 69-74.

26. Ni X., Zhang Z., Li Z. D. J. Optimizing ARA and DHA in infant formula: A systematic review of global trends, regional disparities, and considerations for precision nutrition //Food Research International. 2024. С. 114049.

27. Wendel K. et al. Effect of arachidonic and docosahexaenoic acid supplementation on respiratory outcomes and neonatal morbidities in preterm infants //Clinical Nutrition. 2023. Т. 42. №. 1. С. 22-28.

28. Qin J. et al. A metagenome-wide association study of gut microbiota in type 2 diabetes //nature. 2012. Т. 490. №. 7418. С. 55-60.

29. Шендеров Б. А., Синица А. В., Захарченко М. М. Метабиотики: вчера, сегодня, завтра //Санкт-Петербург: Крафт. 2017. Т. 79.

30. Kerry R. G. et al. Probiotics: the ultimate nutritional supplement //Microbial Biotechnology: Volume 2. Application in Food and Pharmacology. 2018. С. 141-152.

31. Олескин А. В., Шендеров Б. А. Пробиотики, психобиотики и метабиотики: проблемы и перспективы //Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2020. Т. 2. №. 3. С. 233-243.

32. Yin Y. N. et al. Effects of four Bifidobacteria on obesity in high-fat diet induced rats //World journal of gastroenterology: WJG. 2010. Т. 16. №. 27. С. 3394.

33. Олескин А. В., Шендеров Б. А., Роговский В. С. Социальность микроорганизмов и взаимоотношения в системе микробиота-хозяин: роль нейромедиаторов //Москва: Изд-во МГУ. 2020. С. 286.

34. Бондаренко В. М., Рыбальченко О. В. Анализ профилактического и лечебного действия пробиотических препаратов с позиций новых научных технологий //Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2015. №. 2. С. 90-104.

35. Sabico S. et al. Effects of a 6-month multi-strain probiotics supplementation in endotoxemic, inflammatory and cardiometabolic status of T2DM patients: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial //Clinical nutrition. 2019. Т. 38. №. 4. С. 1561-1569.

36. Szulińska M. et al. Dose-dependent effects of multispecies probiotic supplementation on the lipopolysaccharide (LPS) level and cardiometabolic profile in obese postmenopausal women: A 12-week randomized clinical trial //Nutrients. 2018. Т. 10. №. 6. С. 773.

37. Asemi Z. et al. Effect of multispecies probiotic supplements on metabolic profiles, hs-CRP, and oxidative stress in patients with type 2 diabetes //Annals of nutrition and metabolism. 2013. Т. 63. №. 1-2. С. 1-9.

38. Firouzi S. et al. Effect of multi-strain probiotics (multi-strain microbial cell preparation) on glycemic control and other diabetes-related outcomes in people with type 2 diabetes: a randomized controlled trial //European journal of nutrition. 2017. Т. 56. С. 1535-1550.

39. Yadav H., Jain S., Sinha P. R. Oral administration of dahi containing probiotic Lactobacillus acidophilus and Lactobacillus casei delayed the progression of streptozotocin-induced diabetes in rats //Journal of Dairy Research. 2008. Т. 75. №. 2. С. 189-195.

40. Yadav H., Jain S., Sinha P. R. Antidiabetic effect of probiotic dahi containing Lactobacillus acidophilus and Lactobacillus casei in high fructose fed rats //Nutrition. 2007. Т. 23. №. 1. С. 62-68.

41. Ejtahed H. S. et al. Effect of probiotic yogurt containing Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium lactis on lipid profile in individuals with type 2 diabetes mellitus //Journal of dairy science. 2011. Т. 94. №. 7. С. 3288-3294.

42. Ejtahed H. S. et al. Probiotic yogurt improves antioxidant status in type 2 diabetic patients //Nutrition. 2012. Т. 28. №. 5. С. 539-543.

43. Mohamadshahi M. et al. Effects of probiotic yogurt consumption on inflammatory biomarkers in patients with type 2 diabetes //BioImpacts: BI. 2014. Т. 4. №. 2. С. 83.

44. Desai K. G. H., Jin Park H. Recent developments in microencapsulation of food ingredients //Drying technology. 2005. Т. 23. №. 7. С. 1361-1394.

45. Nedovic V. et al. An overview of encapsulation technologies for food applications //Procedia food science. 2011. Т. 1. С. 1806-1815.

46. Timilsena Y. P., Haque M. A., Adhikari B. Encapsulation in the food industry: A brief historical overview to recent developments //Food and Nutrition Sciences. 2020. Т. 11. №. 6. С. 481-508.

47. Reque P. M., Brandelli A. Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: Applications in functional food industry //Trends in Food Science & Technology. 2021. Т. 114. С. 1-10.

48. Marcillo-Parra V. et al. Encapsulation of bioactive compounds from fruit and vegetable by-products for food application–A review //Trends in Food Science & Technology. 2021. Т. 116. С. 11-23.

49. Deng W. et al. Selenium-layered nanoparticles serving for oral delivery of phytomedicines with hypoglycemic activity to synergistically potentiate the antidiabetic effect //Acta pharmaceutica sinica B. 2019. Т. 9. №. 1. С. 74-86.

50. Lammari N. et al. Encapsulation of essential oils via nanoprecipitation process: Overview, progress, challenges and prospects //Pharmaceutics. 2020. Т. 12. №. 5. С. 431.

51. Amjadi S. et al. Enhancement of therapeutic efficacy of betanin for diabetes treatment by liposomal nanocarriers //Journal of functional foods. 2019. Т. 59. С. 119-128.

52. Hu M. X. et al. Arachidonic acid-encapsulated microcapsules with core-shell structure prepared by coaxial electrospray //Journal of Applied Polymer Science. 2021. Т. 138. №. 19. С. 50403.

53. Meng L. I. et al. Effects of different wall materials on the physicochemical properties and stability of ARA oil microcapsules //Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2024. Т. 40. №. 12. С. 295-303.

54. Abdel-Razek A. G. et al. Omega fatty acid-balanced oil formula and enhancing its oxidative stability by encapsulation with whey protein concentrate //Food Bioscience. 2022. Т. 50. С. 101975.

55. Астафьева Б. В. и др. Разработка замороженного мясного полуфабриката с пробиотической культурой Lacticaseibacillus rhamnosus GG //Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84. №. 3. С. 53-59.

56. Leylak C. et al. Optimisation of spray drying parameters for Lactobacillus acidophilus encapsulation in whey and gum Arabic: Its application in yoghurt //International Dairy Journal. 2021. Т. 112. С. 104865.

57. de Araújo Etchepare M. et al. Improvement of the viability of encapsulated probiotics using whey proteins //Lwt. 2020. Т. 117. С. 108601.

58. Забодалова Л. А. и др. Йогурт с инкапсулированными пробиотическими микроорганизмами для профилактики сахарного диабета 2-го типа //Аграрная наука. 2025. №. 3. С. 123-136.

59. Смирнова О. М. Комбинированная терапия сахарного диабета типа 2 //Проблемы эндокринологии.

2005. Т. 51. №. 3. С. 7-10.

60. Заикина М. А. Применение сырья с низким гликемическим индексом в технологии мучных кондитерских изделий //Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания. 2022. №. 1. С. 10-16.

Информация об авторах

Л. А. Забодалова – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник факультета биотехнологий Университета ИТМО.

В. С. Ильина – к.т.н., научный сотрудник международного научного центра «Биотехнологии третьего тысячелетия» Университета ИТМО.

REFERENCES

1. Дедов, И. И., Шестакова, М. В., Майоров, А. Ю., Мокрышева, Н. Г., Андреева, Е. Н., Безлепкина, О. Б. & Ярославцева, М. В. (2023). Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом/Под редакцией ИИ Дедова, МВ Шестаковой, АЮ Майорова. 11-й выпуск. *Сахарный диабет*, *26*(2S), 1-157.

2. Klebanova, E. M., Balabolkin, M. I., Kreminskaia, V. M., & Smirnov, L. D. (2006). Lipid reducing and antioxidant action of mexicor in patients with diabetes mellitus type 2. *Terapevticheskiy arkhiv, 78(8), 67-70.*

3. Wiyono, N., Yudhani, R. D., Wasita, B., Suyatmi, S., Wardhani, L. O., Pesik, R. N., & Rahayu, R. F. (2024). Exploring the therapeutic potential of functional foods for diabetes: A bibliometric analysis and scientific mapping. Narra J, 4(1).

4. Alkhatib, A., Tsang, C., Tiss, A., Bahorun, T., Arefanian, H., Barake, R & Tuomilehto, J. (2017). Functional foods and lifestyle approaches for diabetes prevention and management. Nutrients, 9(12), 1310.

5. Кузнецова, Э. Э., Горохова, В. Г., & Богородская, С. Л. (2016). Микробиота кишечника. Роль в развитии различных патологий. *Клиническая лабораторная диагностика*, *61*(10), 723-726.

6. Clarke, G., Stilling, R. M., Kennedy, P. J., Stanton, C., Cryan, J. F., & Dinan, T. G. (2014). Minireview: gut microbiota: the neglected endocrine organ. *Molecular endocrinology*, *28*(8), 1221-1238.

7. Покровская, Е. В., Шамхалова, М. Ш., & Шестакова, М. В. (2019). Новые взгляды на состояние кишечной микробиоты при ожирении и сахарном диабете 2 типа. *Сахарный диабет*, *22*(3), 253-262.

8. Creely, S. J., McTernan, P. G., Kusminski, C. M., Fisher, F. M., Da Silva, N. F., Khanolkar, M & Kumar, S. (2007). Lipopolysaccharide activates an innate immune system response in human adipose tissue in obesity and type 2 diabetes. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism, 292(3), E740-E747.

9. Tseng, C. H., & Wu, C. Y. (2019). The gut microbiome in obesity. *Journal of the Formosan Medical Association*, *118*, S3-S9.

10. Айтбаев, К. А., & Муркамилов, И. Т. (2017). Ожирение и метаболический синдром: патофизиологическая роль кишечной микробиоты и потенциальные возможности альтернативной терапии. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*, *6*(3), 120-130.

11. Bathina, S., & Das, U. N. (2019). PUFAs, BDNF and lipoxin A4 inhibit chemical-induced cytotoxicity of RIN5F cells in vitro and streptozotocin-induced type 2 diabetes mellitus in vivo. *Lipids in health and disease*, *18*, 1-25.

12. Tallima, H., & El Ridi, R. (2018). Arachidonic acid: physiological roles and potential health benefits–a review. *Journal of advanced research*, *11*, 33-41.

13. Forsyth, S., Gautier, S., & Salem Jr, N. (2016). Global estimates of dietary intake of docosahexaenoic acid and arachidonic acid in developing and developed countries. *Annals of Nutrition and Metabolism*, *68*(4), 258-267.

14. Salem Jr, N., & Van Dael, P. (2020). Arachidonic acid in human milk. *Nutrients*, *12*(3), 626.

15. Dixon, G., Nolan, J., McCLENAGHAN, N. H., Flatt, P. R., & Newsholme, P. (2004). Arachidonic acid, palmitic acid and glucose are important for the modulation of clonal pancreatic β-cell insulin secretion, growth and functional integrity. *Clinical science*, *106*(2), 191-199.

16. Wu, B., Bai, C., Du, Z., Zou, H., Wu, J., Xie, W & Li, E. (2018). The arachidonic acid metabolism protein-protein interaction network and its expression pattern in esophageal diseases. American journal of translational research, 10(3), 907.

17. Grzywa, M. A., & Sobel, A. K. (1995). Incidence of IDDM in the province of Rzeszow, Poland, 0-to 29-year-old age-group, 1980–1992. *Diabetes Care*, *18*(4), 542-544.

18. Luo, P., & Wang, M. H. (2011). Eicosanoids, β-cell function, and diabetes. *Prostaglandins & other lipid mediators*, *95*(1-4), 1-10.

19. Yates, C. M., Calder, P. C., & Rainger, G. E. (2014). Pharmacology and therapeutics of omega-3 polyunsaturated fatty acids in chronic inflammatory disease. *Pharmacology & therapeutics*, *141*(3), 272-282.

20. Kikukawa, H., Sakuradani, E., Ando, A., Shimizu, S., & Ogawa, J. (2018). Arachidonic acid production by the oleaginous fungus Mortierella alpina 1S-4: A review. *Journal of advanced research*, *11*, 15-22.

21. Gundala, N. K., & Das, U. N. (2019). Arachidonic acid–rich ARASCO oil has anti-inflammatory and antidiabetic actions against streptozotocin+ high fat diet induced diabetes mellitus in Wistar rats. *Nutrition*, *66*, 203-218.

22. Das, U. N. (2018). Arachidonic acid in health and disease with focus on hypertension and diabetes mellitus: A review. *Journal of advanced research*, *11*, 43-55.

23. Gundala, N. K., Naidu, V. G., & Das, U. N. (2018). Amelioration of streptozotocin-induced type 2 diabetes mellitus in Wistar rats by arachidonic acid. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *496*(1), 105-113.

24. Tan, Y. Q., Wang, Y. N., Feng, H. Y., Guo, Z. Y., Li, X., Nie, X. L., & Zhao, Y. Y. (2022). Host/microbiota interactions-derived tryptophan metabolites modulate oxidative stress and inflammation via aryl hydrocarbon receptor signaling. *Free Radical Biology and Medicine*, *184*, 30-41.

25. Tounian, P., Bellaïche, M., & Legrand, P. (2021). ARA or no ARA in infant formulae, that is the question. *Archives de Pédiatrie*, *28*(1), 69-74.

26. Ni, X., Zhang, Z., & Li, Z. D. J. (2024). Optimizing ARA and DHA in infant formula: A systematic review of global trends, regional disparities, and considerations for precision nutrition. *Food Research International*, 114049.

27. Wendel, K., Aas, M. F., Gunnarsdottir, G., Rossholt, M. E., Bratlie, M., Nordvik, T & Moltu, S. J. (2023). Effect of arachidonic and docosahexaenoic acid supplementation on respiratory outcomes and neonatal morbidities in preterm infants. *Clinical Nutrition*, *42*(1), 22-28.

28. Qin, J., Li, Y., Cai, Z., Li, S., Zhu, J., Zhang, F & Wang, J. (2012). A metagenome-wide association study of gut microbiota in type 2 diabetes. *nature*, *490*(7418), 55-60.

29. Шендеров, Б. А., Синица, А. В., & Захарченко, М. М. (2017). Метабиотики: вчера, сегодня, завтра. *Санкт-Петербург: Крафт*, *79*.

30. Kerry, R. G., Pradhan, P., Samal, D., Gouda, S., Das, G., Shin, H. S., & Patra, J. K. (2018). Probiotics: the ultimate nutritional supplement. *Microbial Biotechnology: Volume 2. Application in Food and Pharmacology*, 141-152.

31. Олескин, А. В., & Шендеров, Б. А. (2020). Пробиотики, психобиотики и метабиотики: проблемы и перспективы. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*, *2*(3), 233-243.

32. Yin, Y. N., Yu, Q. F., Fu, N., Liu, X. W., & Lu, F. G. (2010). Effects of four Bifidobacteria on obesity in high-fat diet induced rats. *World journal of gastroenterology: WJG*, *16*(27), 3394.

33. Олескин, А. В., Шендеров, Б. А., & Роговский, В. С. (2020). Социальность микроорганизмов и взаимоотношения в системе микробиота-хозяин: роль нейромедиаторов. *Москва: Изд-во МГУ*. 286.

34. Бондаренко, В. М., & Рыбальченко, О. В. (2015). Анализ профилактического и лечебного действия пробиотических препаратов с позиций новых научных технологий. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*, (2), 90-104.

35. Sabico, S., Al-Mashharawi, A., Al-Daghri, N. M., Wani, K., Amer, O. E., Hussain, D. S & McTernan, P. G. (2019). Effects of a 6-month multi-strain probiotics supplementation in endotoxemic, inflammatory and cardiometabolic status of T2DM patients: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Clinical nutrition*, *38*(4), 1561-1569.

36. Szulińska, M., Łoniewski, I., Van Hemert, S., Sobieska, M., & Bogdański, P. (2018). Dose-dependent effects of multispecies probiotic supplementation on the lipopolysaccharide (LPS) level and cardiometabolic profile in obese postmenopausal women: A 12-week randomized clinical trial. *Nutrients*, *10*(6), 773.

37. Asemi, Z., Zare, Z., Shakeri, H., Sabihi, S. S., & Esmaillzadeh, A. (2013). Effect of multispecies probiotic supplements on metabolic profiles, hs-CRP, and oxidative stress in patients with type 2 diabetes. *Annals of nutrition and metabolism*, *63*(1-2), 1-9.

38. Firouzi, S., Majid, H. A., Ismail, A., Kamaruddin, N. A., & Barakatun-Nisak, M. Y. (2017). Effect of multi-strain probiotics (multi-strain microbial cell preparation) on glycemic control and other diabetes-related outcomes in people with type 2 diabetes: a randomized controlled trial. *European journal of nutrition*, *56*, 1535-1550.

39. Yadav, H., Jain, S., & Sinha, P. R. (2008). Oral administration of dahi containing probiotic Lactobacillus acidophilus and Lactobacillus casei delayed the progression of streptozotocin-induced diabetes in rats. *Journal of Dairy Research*, *75*(2), 189-195.

40. Yadav, H., Jain, S., & Sinha, P. R. (2007). Antidiabetic effect of probiotic dahi containing Lactobacillus acidophilus and Lactobacillus casei in high fructose fed rats. *Nutrition*, *23*(1), 62-68.

41. Ejtahed, H. S., Mohtadi-Nia, J., Homayouni-Rad, A., Niafar, M., Asghari-Jafarabadi, M., Mofid, V., & Akbarian-Moghari, A. (2011). Effect of probiotic yogurt containing Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium lactis on lipid profile in individuals with type 2 diabetes mellitus. Journal of dairy science, 94(7), 3288-3294.

42. Ejtahed, H. S., Mohtadi-Nia, J., Homayouni-Rad, A., Niafar, M., Asghari-Jafarabadi, M., & Mofid, V. (2012). Probiotic yogurt improves antioxidant status in type 2 diabetic patients. *Nutrition*, *28*(5), 539-543.

43. Mohamadshahi, M., Veissi, M., Haidari, F., Shahbazian, H., Kaydani, G. A., & Mohammadi, F. (2014). Effects of probiotic yogurt consumption on inflammatory biomarkers in patients with type 2 diabetes. *BioImpacts: BI*, *4*(2), 83.

44. Desai, K. G. H., & Jin Park, H. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying technology*, *23*(7), 1361-1394.

45. Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., & Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia food science*, *1*, 1806-1815.

46. Timilsena, Y. P., Haque, M. A., & Adhikari, B. (2020). Encapsulation in the food industry: A brief historical overview to recent developments. *Food and Nutrition Sciences*, *11*(6), 481-508.

47. Reque, P. M., & Brandelli, A. (2021). Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: Applications in functional food industry. *Trends in Food Science & Technology*, *114*, 1-10.

48. Marcillo-Parra, V., Tupuna-Yerovi, D. S., González, Z., & Ruales, J. (2021). Encapsulation of bioactive compounds from fruit and vegetable by-products for food application–A review. *Trends in Food Science & Technology*, *116*, 11-23.

49. Deng W. et al. (2019). Selenium-layered nanoparticles serving for oral delivery of phytomedicines with hypoglycemic activity to synergistically potentiate the antidiabetic effect. Acta pharmaceutica sinica B. 9(1). C. 74-86.

50. Lammari N. et al. (2020). Encapsulation of essential oils via nanoprecipitation process: Overview, progress, challenges and prospects. Pharmaceutics. 12(5). P. 431.

51. Amjadi S. et al. (2019). Enhancement of therapeutic efficacy of betanin for diabetes treatment by liposomal nanocarriers. Journal of functional foods. (59). 119-128.

52. Hu M. X. et al. (2021). Arachidonic acid-encapsulated microcapsules with core-shell structure prepared by coaxial electrospray //Journal of Applied Polymer Science. 138(19). P. 50403.

53. Meng L. I. et al. (2024). Effects of different wall materials on the physicochemical properties and stability of ARA oil microcapsules //Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 40(12). 295-303.

54. Abdel-Razek A. G. et al. (2022). Omega fatty acid-balanced oil formula and enhancing its oxidative stability by encapsulation with whey protein concentrate. Food Bioscience. (50). P. 101975.

55. Astafieva B. V. and others. (2022). Development of a frozen semi-finished meat product with a probiotic culture of Lacticaseibacillus rhamnosus GG. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 84(3). 53-59. (In Russ).

56. Leylak C. et al. (2021). Optimisation of spray drying parameters for Lactobacillus acidophilus encapsulation in whey and gum Arabic: Its application in yoghurt. International Dairy Journal. (112). P. 104865.

57. De Araújo Etchepare M. et al. (2020). Improvement of the viability of encapsulated probiotics using whey proteins. Lwt. (117). P. 108601.

58. Zabodalova L. A. and others. (2025). Yogurt with encapsulated probiotic microorganisms for the prevention of type 2 diabetes mellitus. Agrarian Science. (3). 123-136. (In Russ).

59. Smirnova O. M. (2005). Combination therapy of type 2 diabetes mellitus. Problems of endocrinology. 51(3). 7-10. (In Russ).

60. Zaikina M. A. (2022). The use of raw materials with a low glycemic index in the technology of flour confectionery.Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex–healthy food products. (1). 10-16. (In Russ).

Information about the authors

L. A. Zabodalova – Doctor of Sciences in engineering, Professor, Chief Researcher at the Faculty of Biotechnology, ITMO University.

V. S. Ilina – PhD in engineering, researcher, international research centre "Biotechnologies of the Third Millenium" (Bio3M), ITMO University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 49–52.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 49–52.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.041
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.007 EDN: PKRBBO

ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТВОРЕНИЯ КАЗЕИНАТА НАТРИЯ

Алла Львовна Новокшанова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия
novokshanova@ion.ru, https://orcid.org/0000-0002-5049-1472

Аннотация. *Продукты энтерального питания, являясь специализированной пищевой продукцией, должны иметь максимально сбалансированный макро- и микронутриентный состав. Одним из лучших вариантов удовлетворения физиологических потребностей в белках является молочное сырье, в частности, казеинат пищевой. В исследовании использован казеинат натрия пищевой, производимый в России. Цель работы состояла в определении оптимальных параметров гидратации казеината натрия. Модельные смеси готовили, диспергируя в питьевой воде навески казеината натрия с массовой долей от 1 до 10 % и с шагом 1 %. Гидратацию казеината натрия проводили при трех температурных режимах: 40, 60 и 80 °С. Установлены линейные зависимости продолжительности растворения казеината натрия от массовой доли в системах сухих веществ и белка. В условиях эксперимента оптимальной температурой гидратации исследованного казеината натрия следует считать 80 °С. При такой температуре процесс растворения данного ингредиента значительно сокращался. При температуре 40 °С, приемлемой при непосредственном употреблении продуктов энтерального питания, для их восстановления из сухих смесей потребуется достаточно длительное набухание казеината натрия – от 15 до 57 минут в зависимости от общего содержания сухих веществ. Либо потребуется использование горячей воды с температурой от 60 до 80 °С для растворения казеината натрия при подготовке сухих продуктов энтерального питания к употреблению. Данный температурно-временной режим мало приемлем для подготовки сухих продуктов энтерального питания к употреблению в стационаре. Однако при промышленном производстве жидких продуктов энтерального питания использование данного казеината натрия вполне допустимо, поскольку процесс гидратации казеината натрия можно совместить дальнейшем с этапом пастеризации молочной смеси.*

Ключевые слова: *специализированное питание, продукты энтерального питания, белки, пищевая ценность, казеинат натрия, гидрофильные свойства, гидратация, диспергирование, растворимость, температурный фактор.*

Для цитирования: Новокшанова А. Л. Температурно-временные параметры растворения казеината натрия // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 49–52. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.007. EDN: https://elibrary.ru/PKRBBO.

Original article

TEMPERATURE-TIME PARAMETERS OF SODIUM CASEINATE DISSOLUTION

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. *Enteral nutrition products, being specialized food products, should have the most balanced macro- and micronutrient composition. One of the best options for satisfying physiological needs for proteins is dairy raw materials, in particular, food caseinate. The study used food sodium caseinate produced in Russia. The aim of the work was to determine the optimal parameters of sodium caseinate hydration. Model mixtures were prepared by dispersing sodium caseinate samples with a mass fraction of 1 to 10 % and with a step of 1 % in drinking water. Sodium caseinate hydration was carried out at three temperature modes: 40, 60 and 80 °C. Linear dependencies of the duration of sodium caseinate dissolution on the mass fraction in the systems of dry substances and protein were established. Under the experimental conditions, the optimal hydration temperature of the studied sodium caseinate should be considered to be 80 °C. At such a temperature, the process of dissolution of this ingredient became shorter. At a temperature of 40 °C, acceptable for direct use of enteral nutrition products, their restoration from dry mixtures will require a fairly long swelling of sodium caseinate - from 15 to 57 minutes depending on the total content of dry substances. Or it will be necessary to use hot water with a temperature of 60 to 80 °C to dissolve sodium caseinate when preparing dry enteral nutrition prod-*

© Новокшанова А. Л., 2026

ucts for use. This temperature and time regime is not very acceptable for preparing dry enteral nutrition products for use in a hospital. However, in the industrial production of liquid enteral nutrition products, the use of this sodium caseinate is quite acceptable, since the process of hydration of sodium caseinate can be further combined with the stage of pasteurization of the milk mixture.

Keywords: *specialized nutrition, enteral nutrition products, proteins, nutritional value, sodium caseinate, hydrophilic properties, hydration, dispersion, solubility, temperature factor.*

For citation: Novokshanova, A. L. (2026). Temperature-time parameters of sodium caseinate dissolution. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 49-52. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.007. EDN: https: //elibrary.ru/PKRBBO.

ВВЕДЕНИЕ

Особенность продуктов энтерального питания заключается в том, что во многих случаях они являются единственными источниками пищевых веществ и энергии для человека [1, 2, 3, 4, 5]. Именно поэтому крайне важно обеспечить максимально сбалансированный макро- и микронутриентный состав этих продуктов [6, 7, 8]. Большое значение в продуктах энтерального питания придается протеиновой составляющей. На текущий момент при интенсивной терапии общепризнанна концепция важности адекватного потребления пациентами белка высокой биологической ценности, по крайней мере, в отношении модулирования иммунного ответа и снижения атрофии мышц [9].

Одним из лучших вариантов удовлетворения физиологических потребностей в белках является молочное сырье, в частности, казеинат пищевой. Данный ингредиент представляет собой продукт переработки молока и может быть произведен из казеина или обезжиренного молока путем обработки растворами гидроокисей щелочных металлов или их солей с последующей сушкой [10]. Казеинат пищевой, разрешенный для использования в продуктах энтерального питания [1], может быть произведен по стандарту [10] или по нормативным документам, действующим на территории ЕАЭС. Несмотря на это, физико-химические показатели и технологические характеристики казеинатов отличаются в зависимости от способа их получения, что следует учитывать при дальнейшем использовании этих ингредиентов.

Продукты энтерального питания производят в двух агрегатных формах: жидкой и сухой, но в обоих случаях требуется гидратация казеината либо на стадии производства, либо перед непосредственным употреблением продукта. В связи с этим в работе изучен процесс растворимости казеината пищевого.

Цель работы состояла в определении оптимальных параметров гидратации пищевого казеината.

МЕТОДЫ

Расчетный метод применен для определения пищевой ценности сформированных систем. Процесс гидратации казеината изучали визуальным методом при диспергировании двухкомпонентных систем «вода-казеинат».

В работе использовали казеинат натрия пищевой марки ТО/9 (далее – казеинат натрия), изготовленный по нормативной документации производителя (ООО «Тагрис», Россия).

Были подготовлены 10 вариантов водных систем с массовой долей казеината натрия от 1 до 10 % с шагом 1 %. Гидратацию казеината натрия проводили при трех температурных режимах: 40, 60 и 80 °С. Процесс растворения казеината натрия вели при непрерывном осторожном помешивании дисперсий и считали завершенным после полного исчезновения видимых включений ингредиента.

В эксперименте принята трехкратная повторность. Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакета программ Statistica. Принятый уровень достоверности 95 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По внешнему виду казеинат натрия представлял собой сыпучий мелкодисперсный порошок светло кремового цвета. Запах ингредиента был характерным для казеината натрия, без посторонних запахов.

Массовая доля белка в казеинате натрия составляла 58,53 %, жира – 17,5 %, углеводов – 15,0 %. Рассчитанная пищевая ценность сформированных систем представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Пищевая ценность двухкомпонентных систем «вода-казеинат»

Table 1 – Nutritional value of two-component "water-caseinate" systems

Расход казеината натрия на 100 г, г	Содержание макронутриентов, г в 100 г			Массовая доля, сухих веществ, %
	Б	Ж	У	
1	0,59	0,18	0,15	0,91
2	1,17	0,35	0,30	1,82
3	1,76	0,53	0,45	2,73
4	2,34	0,70	0,60	3,64
5	2,93	0,88	0,75	4,55
6	3,51	1,05	0,90	5,46
7	4,10	1,23	1,05	6,37
8	4,68	1,40	1,20	7,28
9	5,27	1,58	1,35	8,19
10	5,85	1,75	1,50	9,10

Из данных расчета пищевой ценности, представленных в таблице 1, следует, что диапазон колебания массовой доли сухих веществ в системах составлял 8,19 %, белков – 5,26 %, жиров – 1,57 % и углеводов 1,35 %. Учитывая эту информацию, логично предположить, что наибольшее влияние на продолжительность растворения казеината натрия будет оказывать содержание сухих веществ и белка в системах. Для этих двух переменных была выполнена математическая обработка данных, по результатам которой достоверно установлены две закономерности:

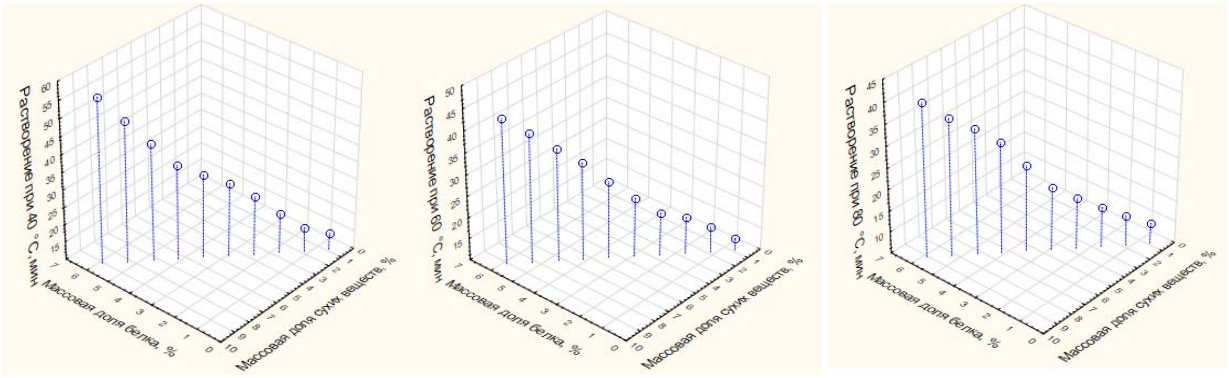
- с повышением концентрации казеината натрия в системах возрастала продолжительность его растворения;
- продолжительность растворения была в обратной зависимости от температурного фактора.

Математически продолжительность растворения казеината натрия (т) была линейно зависима от массовой доли в системах сухих веществ ($W_{св}$) и белка ($W_б$) и выражалась уравнениями:

$$т = 31,36 \cdot W_{св} - 41,0 \cdot W_б + 8,39$$
(при температуре 40 °С);

$$т = -48,52 \cdot W_{св} + 81,5 \cdot W_б + 7,76$$
(при температуре 60 °С);

$$т = -21,05 \cdot W_{св} + 39,0 \cdot W_б + 4,07$$
(при температуре 80 °С).



а б в

Рисунок 1 – Диаграммы рассеяния зависимостей продолжительности растворения казеината натрия:
а – при 40 °С, б – при 60 °С, в – при 80 °С

Figure 1 – Scattering diagrams of the dependences of the duration of dissolution of sodium caseinate:
a – at 40 °C, b – at 60 °C, c – at 80 °C

Из математических зависимостей очевидно, что во всех температурных режимах коэффициенты при обеих переменных важны. Судя по размаху диапазонов переменных, можно было ожидать, что общее содержание сухих веществ будет давать больший вклад в изменение продолжительности растворения казеината натрия. Однако анализ уравнений показывает, что это справедливо только при 40 °С. Причем с учетом знаков коэффициентов при переменных они оказывают противоположное влияние на время растворения казеината натрия и в совокупном вкладе содержание сухих веществ дает больший прирост длительности растворения, чем содержание белка – для снижения. При 60 и 80 °С роль независимых переменных меняется и содержание белка, несмотря на меньший размах диапазона, приобретает большее значение в совокупном вкладе изменения продолжительности растворения казеината натрия. Это связано со значительно более высокими коэффициентами при этой переменной: 81,5 против -48,52 при 60 °С и 39,0 против -21,05 при 80 °С. В конечном итоге содержание белка доминирует во влиянии на скорость растворения казеината натрия при этих температурах.

Диаграммы рассеяния зависимостей продолжительности растворения казеината натрия от общего содержания сухих веществ и белка в системах представлены на рисунке 1.

Как следует из представленных диаграмм, при минимальной концентрации казеинат натрия растворялся за 15 минут при 40 °С (рисунок 1а) и – за 10 минут при 80 °С (рисунок 1в). При максимальной концентрации 10 % казеината натрия в образцах процесс растворения продолжался 57 минут при 40 °С (рисунок 1а) и 41 минуту – при 80 °С (рисунок 1в).

ОБСУЖДЕНИЕ

Теоретически растворимость белков напрямую зависит от их гидрофильных свойств, которые обусловлены аминокислотным составом. Помимо радикалов полярных аминокислот, содержащих карбоксильные группы в остатках Asp и Glu, гидроксильные группы остатков Ser, Thr и Tyr, амидные группы Asn и Gln, молекулы воды связываются в белках с пептидными группами каркаса. Благодаря возникающим ион-дипольным и диполь-дипольным взаимодействиям с функциональными группами аминокислот происходит набухание и растворение большинства белков. С учетом этих данных ранее была предложена эмпирическая формула для расчета гидратационной способности белков, учитывающая их аминокислотный состав, а именно, доли заряженных, полярных и неполярных аминокислотных остатков [11]. Однако экспериментально определяемая растворимость белков не всегда совпадает с теоретическими расчетами. В частности, это касается и казеина. Экспериментально определенная способность казеиновых мицелл связывать около 4 г воды на 1 г белка намного превышает теоретические расчеты. Такое расхождение данных может быть объяснено огромными пустотами в структуре казеиновых мицелл, поглощающих воду не только в результате электростатических контактов, но и под действием капиллярных сил и путем физического захвата [12]. Кроме того, в составе казеината натрия есть липидный и углеводный компоненты, которые в определенной степени влияют на окружение казеиновых мицелл и степень гидратации белковой поверхности.

Другой важный аспект растворимости казеина и/или казеината натрия – это способ, каким эти ингредиенты были получены, и вид исходного сырья. Например, исходным сырьем для производства казеината натрия может служит казеин пищевой, выделенный кислотным способом или с использованием сычужного фермента. Гидрофильные свойства этих казеинов настолько отличаются, что даже стандартные методы определения индекса растворимости используют разные вспомогательные ингредиенты. В методике выполнения измерений индекса растворимости для кислотного казеина применяют тетрагидроборат натрия, а для сычужного казеина – аммиак [13].

Следовательно, стандартные рекомендации по растворимости казеината натрия в каждом конкретном случае зависят от таких факторов, как технология получения самого ингредиента, его состав, природа растворителя и др.

В условиях эксперимента вариативными факторами, которые контролировали при оценке растворимости казеината натрия, были его концентрация и температура диспергирования.

По поводу концентрации казеината натрия можно было предполагать, что с увеличением содержания ингредиента в системе процесс растворения будет удлиняться из-за снижения концентрации свободной воды доступной для гидратации белка.

Однако по поводу влияния температурного воз-

действия на скорость растворения казеината натрия в литературе нет единого мнения. Известно, что при температуре выше 40 °С увеличение термической кинетической энергии приводит к «раскручиванию» структуры молекулы белков (денатурации), выходу наружу неполярных групп, агрегации и осаждению, то есть к снижению растворимости [12]. В другом представлении связывание воды денатурированными белками может быть выше, чем нативными, что является следствием увеличения площади поверхности относительно массы [14].

По существу, казеинаты натрия можно считать денатурированными белками, но не в плане утраты пищевой ценности, а с позиции природных физико-химических свойств. Наблюдаемое в эксперименте сокращение продолжительности растворения казеината натрия при повышении температуры можно объяснить увеличением кинетической энергии молекул воды и, как следствие, возрастанием скорости их диффузии в полости казеиновых частиц и к отдельным функциональным группам полипептидных цепей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

При внесении казеината натрия в пищевое сырье в диапазоне от 1 до 10 % содержание белка в продуктах энтерального питания будет увеличено от 0,59 до 5,85 %. Следовательно, в указанном интервале казеинат натрия может быть самостоятельным источником белка, либо может быть скомбинирован с другими белками. Например, при содержании казеината натрия от 6 до 8 %, включительно, и без добавления других протеиновых ингредиентов продукт будет соответствовать понятию «изонитрогенный» [1].

В условиях эксперимента оптимальной температурой гидратации исследованного казеината натрия следует считать 80 °С. При такой температуре процесс растворения данного ингредиента значительно сокращался. При температуре 40 °С, приемлемой при непосредственном употреблении продуктов энтерального питания, для их восстановления из сухих смесей потребуется достаточно длительное набухание казеината натрия – от 15 до 57 минут в зависимости от общего содержания сухих веществ. Либо потребуется использование горячей воды с температурой от 60 до 80 °С для растворения казеината натрия при подготовке сухих продуктов энтерального питания к употреблению. В таком случае при содержании казеината натрия от 1 до 6 % потребуется гидратация от 10 минут до получаса, а при содержании казеината натрия от 7 до 10 %, включительно, гидратация при этой температуре составит от 30 до 45 минут. Кроме того, для растворения сухих продуктов энтерального питания с таким видом казеината натрия в условиях стационара или дома потребуется дополнительные приспособления для поддержания температуры диспергирования и перемешивания смеси.

По-видимому, исследованный температурно-временной режим мало приемлем для подготовки сухих продуктов энтерального питания к употреблению в стационаре или дома. Однако при промышленном производстве жидких продуктов энтерального питания использование данного казеината натрия вполне допустимо, поскольку, во-первых, многие пищевые предприятия, вырабатывающие специализированные продукты в жидкой форме имеют соответствующее оборудование для термомеханической обработки сырья. Во-вторых, процесс гидратации казеината натрия можно совместить в дальнейшем с этапом пастеризации молочной смеси.

Материал подготовлен в рамках государственного задания FGMF-2025-0011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 35004-2023 Продукты пищевые энтерального питания базовые. – М.: ФГБУ «Институт стандартизации», 2023. 21 с.

2. Fabbro ED, Shalini D, Bruera E. Symptom Control in Palliative Care – Part II: Cachexia/Anorexia and Fatigue. J Palliat Med 2006; 9(2): 409-421. 25. Cotogni P, Stragliotto S, Ossola M, Collo A, Riso S. The Role of Nutritional Support for Cancer Patients in Palliative Care. Nutrients. 2021 Jan 22;13(2):306.

3. Arends J., Bachmann P., Baracos V., Barthelemy N., Bertz H., Bozzetti F. et al. ESPEN guidelines on nutrition in cancer patients. Clin Nutr 2017;36 (1):11e48.

4. Barazzoni R, Bischoff SC, Breda J, et al. ESPEN expert statements and practical guidance for nutritional management of individuals with SARS-CoV-2 infection. Clin Nutr. 2020;39(6):1631-8. DOI:10.1016/j.clnu.2020.03.022.

5. Stratton RJ, Hébuterne X, Elia M. A systematic review and meta-analysis of the impact of oral nutritional supplements on hospital readmissions. Ageing Res Rev. 2013;12(4):884-97. DOI:10.1016/j.arr.2013.07.002.

6. Потапов А.Л. Дополнительное пероральное питание в составе нутритивной поддержки в онкохирургии. Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2020;17(2):64-69. https://doi.org/10.21292/2078-5658-2020-17-2-64-69.

7. Hoekstra JC, Goosen JH, de Wolf GS, Verheyen CC. Effectiveness of multidisciplinary nutritional care on nutritional intake, nutritional status and quality of life in patients with hip fractures: a controlled prospective cohort study. Clin Nutr 2011; 30: 455–61.

8. Anbar R, Beloosesky Y, Cohen J et al. Tight calorie control in geriatric patients following hip fracture decreases complications: a randomized, controlled study. Clin Nutr 2014; 33: 23–8.

9. Bear, D.E., Wandrag, L., Merriweather, J.L. et al. The role of nutritional support in the physical and functional recovery of critically ill patients: a narrative review. Crit Care 21, 226 (2017). https://doi.org/10.1186/s13054-017-1810-2.

10. ГОСТ 33920-2016 Казеинаты пищевые. Технические условия. – М .: Стандартинформ, 2016. – 18 с.

11. Kuntz I. D., Kauzmann W. Hydration of proteins and polypeptides // Adv. Protein Chem., 1974, 28, p. 239–345.

12. Тепел А. Химия и физика молока / А. Тепел. Пер. с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С. А. Фильчаковой. СПб.: Профессия, 2012. 832 с., табл., ил.

13. ГОСТ 31689-2012 Казеин. Технические условия. М .: Стандартинформ, 2014. 16 с.

14. Kinsella J. E., Fox P. F. Water sorption by proteins: milk and whey proteins // CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 1986, 24, p. 91–139.

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».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 53–57.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 53–57.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.5.032
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.008 EDN: CUXDTU

НУТРИТИВНАЯ АДЕКВАТНОСТЬ И СООТВЕТСТВИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ НОРМАМ КОНИНЫ СУХОГО И ВЛАЖНОГО СОЗРЕВАНИЯ

Мухамедов Талгат Амангалиевич [1], Тихонов Сергей Леонидович [2], Тихонова Наталья Валерьевна [3]

[1] Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтурсынова, Костанай, Казахстан
[2] Уральский государственный аграрный университет, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия
[3] Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

[1] talgat.mukhamedov.81@mail.ru
[2] tihonov75@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-4863-9834
[3] tihonov75@bk.ru, https://orcid.org/0000-0001-5841-1791

Аннотация. *Исследование посвящено оценке влияния способа созревания (сухое и влажное) и продолжительности созревания конины (14 и 21 сутки) на её питательную ценность и нутритивную адекватность для мужчин и женщин II группы (18–59 лет). Сухое созревание приводит к значительному увеличению концентрации белка: на 14-е сутки его содержание достигает 26,72 г на 100 г сырой конины, на 21-е сутки – 26,64 г, что связано с потерей влаги и концентрацией сухого вещества. Влажное созревание сопровождается менее выраженными изменениями: белок варьирует в пределах 22,47–22,84 г. Содержание жира снижается при обоих способах, минимальные показатели наблюдаются при сухом созревании – 1,80 г на 100 г, тогда как влажное обеспечивает большее сохранение жира (2,06–2,67 г), обеспечивая мягкую текстуру продукта. Минеральный состав изменяется умеренно: фосфор при сухом способе созревания достигает 304 мг на 100 г, при влажном – 271–274 мг; кальций остаётся стабильным (4,5–6,6 мг). Энергетическая ценность напрямую зависит от содержания белка и жира: сухое созревание повышает калорийность до 126–135 ккал, влажное поддерживает её на уровне 114–115 ккал. Нутритивная адекватность показывает, что сухое созревание обеспечивает до 70,1 % дневной нормы белка у мужчин и до 82,5 % у женщин, фосфор достигает 38 % суточной потребности. Энергетическая ценность остаётся умеренной (4–6 %), тогда как содержание жира и кальция требует дополнения другими продуктами. Выбор способа и продолжительности созревания позволяет регулировать питательную ценность конины под диетические, спортивные и функциональные цели, обеспечивая адаптированную нутритивную поддержку конкретной группы потребителей. Полученные данные могут быть использованы при разработке технологий производства продуктов из конины с высоким содержанием белка и сбалансированным минеральным профилем.*

Ключевые слова: *конина, сухое созревание, влажное созревание, нутритивная адекватность, химический состав, минеральный состав, белок, диетическое питание.*

Для цитирования: Мухамедов Т. А., Тихонов С. Л., Тихонова Н. В. Нутритивная адекватность и соответствие физиологическим нормам конины сухого и влажного созревания // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 53–57. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.008. EDN: https://elibrary.ru/CUXDTU.

Original article

NUTRITIONAL ADEQUACY AND COMPLIANCE WITH PHYSIOLOGICAL STANDARDS OF DRY- AND WET-AGED HORSE MEAT

Talgat A. Mukhamedov [1], Sergey L. Tikhonov [2], Natalya V. Tikhonova [3]

[1] Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynov, Kostanay, Kazakhstan
[2] Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia
[2, 3] Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

[1]talgat.mukhamedov.81@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-8441-6691
[2]tihonov75@bk.ru, https://orcid.org/0000-0003-4863-9834
[3]tihonov75@bk.ru, https://orcid.org/0000-0001-5841-1791

© Мухамедов Т. А., Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., 2026

Abstract. *The study focused on assessing the impact of aging method (dry and wet) and duration (14 and 21 days) on the nutritional value and adequacy of horse meat for men and women of Group II (18–59 years). Dry aging led to a significant increase in protein concentration: on day 14, protein content reached 26.72 g per 100 g of raw horse meat, and on day 21 — 26.64 g, associated with moisture loss and concentration of dry matter. Wet aging caused less pronounced changes, with protein varying between 22.47–22.84 g. Fat content decreased in both aging types, with the lowest values observed during dry aging — 1.80 g per 100 g, while wet aging retained more fat (2.06–2.67 g), ensuring a softer texture. Mineral composition changed moderately: phosphorus reached 304 mg per 100 g under dry aging and 271–274 mg under wet aging; calcium remained stable at 4.5–6.6 mg. Energy value was directly related to protein and fat content: dry aging increased caloric content to 126–135 kcal, whereas wet aging maintained it at 114–115 kcal. Nutritional adequacy showed that dry aging provided up to 70.1 % of the daily protein requirement for men and up to 82.5 % for women, with phosphorus reaching 38 % of the daily requirement. Energy contribution remained moderate (4–6 %), while fat and calcium levels require supplementation with other foods. The choice of aging method and duration allows regulation of horse meat's nutritional value for dietary, sports, and functional purposes, providing tailored nutritional support for specific consumer groups. These findings can be applied in developing production technologies for horse meat products with high protein content and a balanced mineral profile.*

Keywords: *horse meat, dry aging, wet aging, nutritional adequacy, chemical composition, mineral composition, protein, dietetic nutrition.*

For citation: Mukhamedov T. A., Tikhonov S. L. & Tikhonova N. V. (2026). Nutritional adequacy and compliance with physio-logical standards of dry- and wet-aged horse meat. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 53-57. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.008. EDN: https: //elibrary.ru/CUXDTU.

ВВЕДЕНИЕ

Конина является ценным пищевым продуктом благодаря высокому содержанию белка, низкому содержанию жира и сбалансированному минеральному составу [1]. Белок конины характеризуется полноценным аминокислотным профилем, легко усваивается и способствует поддержанию мышечной массы [2]. Перечисленные характеристики делают конину привлекательным для диетического питания, рационов для людей с избыточным весом, спортсменов и лиц, ведущих активный образ жизни. Низкое содержание жира и умеренная энергетическая ценность позволяют включать конину в рацион при контроле калорийности пищи [3].

Процесс созревания конины оказывает существенное влияние на физико-химические свойства, текстуру, вкусовые характеристики и нутритивную ценность продукта. Основные промышленные способы созревания – сухой и влажный – различаются по интенсивности потери влаги, соотношению белка и жира, а также изменениям минерального состава. Сухое созревание сопровождается выраженной дегидратацией, увеличением массовой доли белка и сухого вещества, улучшением текстуры и формированием более выраженного вкусового профиля. Влажное созревание сохраняет больше влаги в ткани, характеризуется меньшими потерями веса и сохранением мягкости конины, однако изменения химического и минерального состава при этом менее выражены [4, 5].

Несмотря на растущий интерес к конине как диетическому и функциональному продукту, данные о влиянии способа и длительности созревания на химический состав, минеральный состав и нутритивную адекватность конины для мужчин и женщин II возрастной группы (18–59 лет) ограничены. Это определяет необходимость систематического изучения, позволяющего оценить, как различные способы созревания изменяют концентрацию белка, жира, минералов и энергетическую ценность продукта, а также его способность удовлетворять физиологические потребности взрослого человека [6, 7].

Комплексный анализ химического состава, минерального состава и нутритивной адекватности конины при сухом и влажном способах созревания позволяет определить оптимальные режимы обработки конины для формирования диетического продукта, адаптированного к потребностям взрослого населения. Полученные данные имеют практическое значение для рационального планирования питания, разработки функциональных мясных продуктов и повышения качества пищевых рационов с учетом физиологических норм потребления макро- и микроэлементов [8–10].

Цель исследования – оценить влияние способа и продолжительности созревания конины на её питательную ценность и нутритивную адекватность для мужчин и женщин II группы (18–59 лет).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являлась конина, подвергнутая сухому и влажному способам созревания [11, 12]. Использовали контрольные образцы (1 сутки, без созревания) и конину после 14 и 21 суток, пересчитанную на 100 г сырой конины для расчёта нутритивной адекватности; контроль служил исходной точкой для оценки изменений, вызванных созреванием. Каждый эксперимент проводился в 4-х повторностях (n = 4).

Химический и минеральный состав конины использован на основании данных предыдущих исследований [13], на их основе рассчитывались энергетическая ценность и нутритивная адекватность.

Нутритивная адекватность конины для мужчин и женщин II группы (18–59 лет) определялась в процентах от среднесуточной нормы потребления энергии, макро- и микроэлементов с учётом возрастных диапазонов 18–29, 30–39 и 40–59 лет.

Применяемый подход позволил комплексно оценить влияние способа и продолжительности созревания на формирование питательной ценности конины и определить оптимальные режимы обработки для получения продукта, пригодного для диетического, спортивного и функционального питания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ химического и минерального состава конины после сухого и влажного созревания позволил выявить влияние способа и продолжительности созревания на формирование её питательной и энергетической ценности. На основании полученных данных рассчитан состав питательных веществ в 100 г продукта (таблица 1).

Процесс сухого и влажного созревания конины оказывает заметное влияние на химический состав, минеральный профиль и нутритивную ценность конины.

Согласно результатам биохимического исследования, сухое созревание приводит к увеличению концентрации белка: на 14-е сутки его содержание достигает 26,72 г на 100 г сырой конины и сохраняется на высоком уровне на 21-е сутки (26,64 г). Повышение доли белка связано с более активной потерей влаги и накоплением сухого вещества. При влажном созревании изменения выражены слабее: содержание белка варьирует в пределах 22,47–22,84 г благодаря сохранению воды в мышечной ткани.

Содержание жира снижается при обоих способах, однако минимальные показатели наблюдаются при сухом созревании – 1,80 г на 100 г конины на 21-е сутки. Высокое белково-жировое соотношение (до 14,84) повышает питательную плотность конины, что имеет значение для диетического и спортивного питания. Влажное созревание сохраняет больше жира (2,06–2,67 г), что обеспечивает более мягкую текстуру и умеренные изменения нутритивного профиля. Наблюдаемые изменения показателей объясняются биохимическими процессами, протекающими в мышечной ткани в период созревания, включая перераспределение влаги и концентрацию сухих веществ.

Минеральный состав претерпевает умеренные изменения: фосфор при сухом способе возрастает до 304 мг на 100 г, а при влажном – более плавно, до 271–274 мг. Кальций остаётся стабильным (4,5–6,6 мг), что отражает физиологическую устойчивость тканей к потере микроэлементов. Энергетическая ценность напрямую связана с концентрацией белка и жира: сухое созревание повышает её до 126–135 ккал, тогда как при влажном, за счёт сохранения влаги, она остается её на уровне 114–115 ккал.

Таблица 1 – Содержание питательных веществ в 100 г конины (сухое и влажное созревание)
Table 1 – Nutrient content per 100 g of horse meat (dry and wet aging)

Показатель	1 сутки (Контроль)	14 суток (Сухое)	14 суток (Влажное)	21 сутки (Сухое)	21 сутки (Влажное)
Белок, г	22,42	26,72	22,47	26,64	22,84
Жир, г	4,90	2,02	2,06	1,80	2,67
Кальций, мг	5,0	6,6	4,5	4,5	4,7
Фосфор, мг	200	304	271	304	274
Энергия, ккал	134	126	114	123	115
Примечание: образцы 14 и 21 суток – конина после сухого и влажного созревания, на 100 г сырой конины для расчёта нутритивной адекватности. Контроль (1 сутки) – конина, не подвергавшаяся созреванию.					

Таблица 2 – Нутритивная адекватность конины для мужчин (II группа, 18–59 лет), данные представлены в % от среднесуточной нормы потребления

Table 2 – Nutritional adequacy of horse meat for men (Group II, 18–59 years), data presented as % of the average daily requirement

Показатель	Нормы	1 сутки (Контроль)	14 суток (Сухое)	14 суток (Влажное)	21 сутки (Сухое)	21 сутки (Влажное)
Энергия	2650 ккал	5,06	4,75	4,30	4,64	4,34
Белок	38 г	59,0	70,3	59,1	70,1	60,1
Жир	88 г	5,57	2,30	2,34	2,05	3,03
Кальций	1000 мг	0,50	0,66	0,45	0,45	0,47
Фосфор	800 мг	25,0	38,0	33,9	38,0	34,3
Примечание: нормы указаны как средние по возрастам 18–29, 30–39 и 40–59 лет для мужчин II группы физической активности. Контроль (1 сутки) – конина, не подвергавшаяся созреванию.						

Таблица 3 – Нутритивная адекватность конины для женщин (II группа, 18–59 лет), данные представлены в % от среднесуточной нормы потребления

Table 3 – Nutritional adequacy of horse meat for women (Group II, 18–59 years), data presented as % of the average daily requirement

Показатель	Нормы	1 сутки (Контроль)	14 суток (Сухое)	14 суток (Влажное)	21 сутки (Сухое)	21 сутки (Влажное)
Энергия	2150 ккал	6,23	5,86	5,30	5,72	5,35
Белок	32,3 г	69,4	82,7	69,6	82,5	70,7
Жир	71,7 г	6,83	2,82	2,87	2,51	3,73
Кальций	1100 мг	0,45	0,60	0,41	0,41	0,43
Фосфор	800 мг	25,0	38,0	33,9	38,0	34,3
Примечание: нормы указаны как средние по возрастам 18–29, 30–39 и 40–59 лет для женщин II группы физической активности. Контроль (1 сутки) – конина, не подвергавшаяся созреванию.						

По данным химического состава и энергетической ценности, представленным в таблице 1, была рассчитана нутритивная адекватность конины для мужчин и женщин II группы (18–59 лет). Результаты расчётов, приведенные в таблицах 2 и 3, демонстрируют как различия в содержании белка, жира и минеральных веществ отражаются на покрытии суточной нормы питательных компонентов. Белок после сухого созревания обеспечивает до 70,1 % дневной нормы у мужчин и до 82,5 % у женщин, а фосфор достигает 38 % суточной потребности. Энергетическая ценность остаётся умеренной – 4–6 % нормы, тогда как жировой и кальциевый профили конины требуют дополнения другими продуктами.

Продолжительность созревания усиливает различия между способами: на 21-е сутки сухой способ формирует более концентрированный белково-минеральный профиль, а влажное созревание обеспечивает сохранение баланса питательных веществ и мягкости конины. Полученные результаты подтверждают, что способ и продолжительность созревания выступают ключевыми технологическими факторами, влияющими на формирование химического состава, минерального профиля и нутритивной ценности конины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сухое и влажное созревание конины оказывают заметное влияние на её химический состав, минеральный профиль и нутритивную ценность. Сухой способ повышает концентрацию белка и фосфора, снижает содержание жира и увеличивает энергетическую плотность, в то время как влажное созревание сохраняет больше влаги и жира, поддерживая мягкую текстуру конины при умеренных изменениях питательных веществ.

Расчёты нутритивной адекватности показали, что конина после сухого созревания обеспечивает до 70 % дневной нормы белка у мужчин и до 82 % у женщин II группы (18–59 лет), а фосфор достигает 38 % суточной потребности. Энергетическая ценность остаётся умеренной, а содержание жира и кальция требует дополнения другими продуктами в рационе.

Продолжительность созревания усиливает различия между способами: на 21-е сутки сухое созревание формирует более концентрированный белково-минеральный профиль, тогда как влажное созревание обеспечивает сохранение баланса питательных веществ и мягкости конины.

Выбор способа и продолжительности созревания позволяет адаптировать конину под диетические, спортивные или функциональные цели, повышая её питательную ценность и соответствие потребностям конкретной группы потребителей.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологий производства продуктов из конины сухого и влажного созревания и при оценке их нутритивной ценности в системах диетического и функционального питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ivanković, A., Pećina, M., Bittante, G., Amalfitano, N., Konjačić, M., Kelava Ugarković, N. Meat Production Potential of Local Horse Breeds: Sustainable Conservation Through Valorization // Animals : an open access journal from MDPI. 2025. Vol. 15, № 13. P. 1911. DOI: 10.3390/ani15131911.

2. Chen C., Chaudhary A., Mathys A. Nutrient Adequacy of Global Food Production // Frontiers in Nutrition. 2021. Vol. 8. Article 739755. DOI: 10.3389/fnut.2021.739755.

3. Schilling M. W., Smith S. W., Apalowo O. E., Comey R., Wang S., Dinh T. Processed meat in the diet: general nutritional profile protein quality and micronutrients // Animal Frontiers. 2025. Article vfaf047. DOI: 10.1093/af/vfaf047.

4. Lorenzo J. M., Sarriés M. V., Tateo A., Polidori P., Franco D., Lanza M. Carcass characteristics, meat quality and nutritional value of horsemeat: a review // Meat Science. 2014. Vol. 96, № 4. P. 1478–1488. DOI: 10.1016/j.meatsci.2013.12.006.

5. Marino R., Della Malva A., Maggiolino A., De Palo P., d'Angelo F., Lorenzo J. M., Sevi A., Albenzio M. Nutritional Profile of Donkey and Horse Meat: Effect of Muscle and Aging Time // Animals : an open access journal from MDPI. 2022. Vol. 12, № 6. Article 746. DOI: 10.3390/ani12060746.

6. Войцеховская Л. У., Вербицкий С. Б., Франко Е. В., Шелковая Т. В. Нутриентная адекватность как критерий выбора мясного сырья для функциональных продуктов // Аграрная наука сельскому хозяйству : сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах. Барнаул, 09–10 февраля 2022 года. Том. Книга 2. Барнаул : Алтайский государственный аграрный университет, 2022. С. 101–103. EDN EPWKRC.

7. МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: методические рекомендации. Утв. Роспотребнадзором 22 июля 2021 г. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 72 с.

8. Smith N. W., Fletcher A. J., Hill J. P., McNabb W. C. Modeling the Contribution of Meat to Global Nutrient Availability // Frontiers in Nutrition. 2022. Vol. 9. Article 766796. DOI: 10.3389/fnut.2022.766796.

9. Agarwal S., Fulgoni V. L. III. Beef Consumption Is Associated with Higher Intakes and Adequacy of Key Nutrients in Older Adults Age 60+ Years: National Health and Nutrition Examination Survey 2011–2018 Analysis // Nutrients. 2024. Vol. 16, № 11. P. 1779. DOI: 10.3390/nu16111779.

10. Lau C. S., Fulgoni V. L. III, Van Elswyk M. E., McNeill S. H. Trends in Beef Intake in the United States: Analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey, 2001–2018 // Nutrients. 2023. Vol. 15, № 11. P. 2475. DOI: 10.3390/nu15112475.

11. Способ получения стейка из сухой созревшей конины : пат. 9698 Республика Казахстан, МКП A23L 13/00 (2006.01), A23L 13/70 (2016.01) / Т. А. Мухамедов, А. А. Мухамедов, А. А. Мухамедов, С. М. Мухамедова ; заявитель и патентообладатель А. А. Мухамедов. № 2024/0913.2 ; опубл. 18.10.2024, Бюл. № 42. 2 с.

12. Способ влажного созревания конины : пат. 9780 Республика Казахстан, МКП A23L 13/00 (2006.01) / Т. А. Мухамедов, А. А. Мухамедов, А. А. Мухамедов, С. М. Мухамедова ; заявитель и патентообладатель А. А. Мухамедов. № 2024/0932.2 ; опубл. 15.11.2024, Бюл. № 46. 2 с.

13. Мухамедов Т. А., Мухамедова С. М. Сравнительная оценка показателей качества конины сухого и влажного созревания // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2024. № 4. С. 88–101.

Информация об авторах

Т. А. Мухамедов – старший преподаватель, магистр сельскохозяйственных наук кафедры продовольственной безопасности и биотехнологии Костанайского регионального университета имени Ахмета Байтурсынова.

С. Л. Тихонов – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры пищевой инженерии и аграрного производства Уральского государственного аграрного университета; профессор высшей школы биотехнологии Уральского государственного лесотехнического университета.

Н. В. Тихонова – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии и аграрного производства Уральского государственного аграрного университета.

REFERENCES

1. Ivanković, A., Pećina, M., Bittante, G., Amalfitano, N., Konjačić, M., & Kelava Ugarković, N. (2025). Meat Production Potential of Local Horse Breeds: Sustainable Conservation Through Valorization. Animals, *15*(13), 1911. (In Eng.). doi.org/10.3390/ani15131911

2. Chen, C., Chaudhary, A., & Mathys, A. (2021). Nutrient Adequacy of Global Food Production. Frontiers in nutrition, 8, 739755. (In Eng.). doi.org/10.3389/fnut.2021.739755

3. Schilling, M. W., Smith, S. W., Apalowo, O. E., Comey, R., Wang, S., & Dinh, T. (2025). Processed meat in the diet: General nutritional profile–protein quality and micronutrients. Animal Frontiers, vfaf047. (In Eng.). doi.org/10.1093/af/vfaf047

4. Lorenzo, J. M., Sarriés, M. V., Tateo, A., Polidori, P., Franco, D., & Lanza, M. (2014). Carcass characteristics, meat quality and nutritional value of horsemeat: A review. Meat Science, *96*(4), 1478–1488. (In Eng.). doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.12.006

5. Marino, R., della Malva, A., Maggiolino, A., De Palo, P., d'Angelo, F., Lorenzo, J. M., Sevi, A., & Albenzio, M. (2022). Nutritional Profile of Donkey and Horse Meat: Effect of Muscle and Aging Time. Animals, *12*(6), 746. (In Eng.). doi.org/10.3390/ani12060746

6. Voytsehovskaya, L. U., Verbitsky, S. B., Franco, E. V., & Shelkovaya, T. V. (2022). Nutrient adequacy as a criterion for selecting meat raw materials for functional products. In Agrarian Science for Agriculture: Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference (Vol. Book 2, pp. 101–103). Barnaul: Altai State Agrarian University. (In Russ.).

7. MR 2.3.1.0253-21. (2021). Norms of physiological requirements for energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation: Methodological recommendations. Approved by Rospotrebnadzor on July 22, 2021. Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being. 72 p. (In Russ.).

8. Smith, N. W., Fletcher, A. J., Hill, J. P., & McNabb, W. C. (2022). Modeling the Contribution of Meat to Global Nutrient Availability. Frontiers in nutrition, 9, 766796. (In Russ.). doi.org/10.3389/fnut.2022.766796

9. Agarwal, S., & Fulgoni, V. L. III. (2024). Beef consumption is associated with higher intakes and adequacy of key nutrients in older adults age 60+ years: National Health and Nutrition Examination Survey 2011–2018 analysis. Nutrients, 16(11), 1779. (In Russ.). doi.org/10.3390/nu16111779

10. Lau, C. S., Fulgoni, V. L., 3rd, Van Elswyk, M. E., & McNeill, S. H. (2023). Trends in beef intake in the United States: Analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey, 2001–2018. Nutrients, 15(11), 2475. (In Russ.). doi.org/10.3390/nu15112475

11. Mukhamedov, T. A., Mukhamedov, A. A., Mukhamedov, A. A., & Mukhamedova, S. M. (2024). Method of obtaining steak from dry-aged horse meat: Patent 9698 Republic of Kazakhstan, IPC A23L 13/00 (2006.01), A23L 13/70 (2016.01). No. 2024/0913.2. Published 18.10.2024, Bulletin No. 42. Applicant and patent holder: A. A. Mukhamedov. 2 p. (In Russ.)

12. Mukhamedov, T. A., Mukhamedov, A. A., Mukhamedov, A. A., & Mukhamedova, S. M. (2024). Method of wet aging horse meat: Patent 9780 Republic of Kazakhstan, IPC A23L 13/00 (2006.01). No. 2024/0932.2. Published 15.11.2024, Bulletin No. 46. Applicant and patent holder: A. A. Mukhamedov. 2 p. (In Russ.)

13. Mukhamedov, T. A., & Mukhamedova, S. M. (2024). Comparative assessment of the quality indicators of dry-aged and wet-aged horse meat. Vestnik Kerch State Marine Technological University, (4), 88–101. (In Russ.)

Information about the authors

T. A. Mukhamedov – Senior Lecturer, Master of Agricultural Sciences, Department of Food Security and Biotechnology, Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynov.

S. L. Tikhonov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Engineering and Agricultural Production of the Ural State Agrarian University.

N. V. Tikhonova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Engineering and Agricultural Production of the Ural State Agrarian University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 58–63.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 58–63.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.3
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.009 EDN: GAXQYB

БЕТУЛИН В ТЕХНОЛОГИИ МЯГКИХ РЕМЕСЛЕННЫХ СЫРОВ

Ольга Николаевна Мусина [1], Дарья Андреевна Усатюк [2]

[1] ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, Россия,
[2] ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», г. Барнаул, Россия,
[1]musinaolga@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4938-8136
[2]d_usatyuk@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7852-1680

***Аннотация**. В Сибирском НИИ сыроделия разработана в 2018 году нормативно-техническая документация на «Сыры ремесленные мягкие», регламентирующая производство мягких сыров в условиях фермерских хозяйств с преобладанием ручного труда. Специфика данной технологии обуславливает ограниченные сроки годности продукции. Целью новых исследований стало увеличение хранимоспособности, повышение качества и безопасности, а также расширение ассортимента мягких ремесленных сыров. Достигнуть поставленной цели предложено путем введения в технологию дополнительного растительного компонента – «Бетулина» (экстракт бересты березы), обладающего антиоксидантными, антимикробными, противогрибковыми и дезинфицирующими свойствами. В статье описаны технологические процессы производства фермерских сыров «Сливочный Страчателла», «Буррата Алтайский» и «Старый Барнаул» с использованием экстракта бересты. В технологии сыров «Сливочный Страчателла» и «Буррата Алтайский» экстракт бересты «Бетулин» рекомендовано вносить в сливки жирностью 34 % на этапе их пастеризации в дозировке не менее $3{,}6 \cdot 10^{-3}$ г на 1 г жира сливок. В технологии сыра «Старый Барнаул» изучены два способа внесения «Бетулина»: в горячее термокислотное зерно при формовании сырной головки и на поверхность остывшей сырной головки после самопрессования, оба способа могут быть рекомендованы к применению. Представлена динамика изменения активной кислотности экспериментальных и контрольного образцов сыра в процессе холодильного хранения, а также результаты органолептической оценки. Установлено, что данные по активной кислотности коррелируют с результатами органолептического анализа. По результатам исследований срок годности сыров «Сливочный Страчателла» и «Буррата Алтайский» увеличен с 7 до 15 суток, сыра «Старый Барнаул» – с 10 до 20 суток. Получены новые данные о совместном влиянии молочного сырья, «Бетулина» и технологических параметров на характеристики мягких ремесленных сыров. Научно обоснована перспективность применения бетулина в технологии данной группы сыров.*

***Ключевые слова:** бетулин, мягкие ремесленные сыры, активная кислотность, органолептические показатели, технологический процесс, хранимоспособность, холодильное хранение.*

***Для цитирования:** Мусина О. Н., Усатюк Д. А. Бетулин в технологии мягких ремесленных сыров // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 58–63. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.009. EDN: https://elibrary.ru/GAXQYB.*

Original article

BETULIN IN TECHNOLOGY OF SOFT ARTISANAL CHEESES

Olga N. Musina [1], Daria A. Usatyuk [2]

[1] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[2] Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, Barnaul, Russia
[1] musinaolga@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4938-8136
[2] d_usatyuk@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7852-1680

***Abstract.** In 2018, regulatory and technical documentation for «Artisanal Soft Cheeses» was developed at the Siberian Research Institute of Cheese Making, regulating the production of soft cheeses in farm enterprises with a prevalence of manual labor. The specifics of this technology result in limited product shelf life. The aim of the new research was to extend shelf life, enhance quality and safety, and expand the assortment of soft artisanal cheeses. Achieving this goal was proposed through the introduction of an additional plant component into the technology – the «Betulin» (birch bark extract), which possesses antioxidant, antimicrobial, antifungal, and disinfectant properties. The article describes the technological processes for producing farm cheeses «Creamy Stracatella», «Burrata Altayskaya», and «Old Barnaul» using birch bark extract. In the technology of «Creamy Stracatella» and «Burrata Altayskaya» cheeses, the «Betulin» was added to 34 % fat cream during the mixing stage with shredded mozzarella mass at a dosage of at least $3.6 \cdot 10^{-3}$ g per 1 g of cream fat. In the technology of «Old Barnaul» cheese, two methods of introducing the «Betulin» preparation were employed: into the hot thermoacid curd during cheese head formation and onto the surface of the cooled cheese*

© Мусина О. Н., Усатюк Д. А., 2026

head after self-pressing. The dynamics of active acidity changes in experimental and control cheese samples during refrigerated storage are presented, along with the results of organoleptic evaluation. It was established that active acidity data correlate with the results of organoleptic analysis. Based on the research results, the shelf life of «Creamy Stracatella» and «Burrata Altayskaya» cheeses was extended from 7 to 15 days, and for «Old Barnaul» cheese from 10 to 20 days. New data were obtained on the combined effect of milk raw materials, «Betulin», and technological parameters on the characteristics of soft artisanal cheeses. The feasibility of using betulin in the technology of this group of cheeses has been scientifically substantiated.

***Keywords**: betulin, soft artisanal cheeses, active acidity, organoleptic indicators, technological process, shelf life, refrigerated storage*

For citation: Musina O. N. & Usatiuk D. A. (2026). Betulin in technology of soft artisanal cheeses. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 58-63. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.009. EDN: https: //elibrary.ru/GAXQYB.

ВВЕДЕНИЕ

Сыр относится к категории продуктов высокой пищевой ценности, содержащих целый комплекс питательных веществ [1]. Ассортимент сыров крайне разнообразен и классифицируется по массовой доле жира и влаги (жирные, полужирные, обезжиренные, твердые, полутвердые, мягкие), типу свертывания молока (кисломолочные, сычужные, термокислотные), наличию добавок и другим признакам, а также по способу производства (промышленные, фермерские) [2].

Фермерские (ремесленные) сыры характеризуются традиционными методами производства, часто с использованием ручного труда, и выпускаются ограниченными партиями. Ключевым отличием ремесленных сыров от промышленных (индустриальных) аналогов являются органолептические свойства: более сложный, выраженный вкус и специфическая консистенция, обусловленная отсутствием поточной механизации. Традиционно молоко-сырье для таких сыров производится в пределах собственного хозяйства.

Развитие фермерского сыроделия в России сопряжено с рядом технологических и санитарно-гигиенических рисков. В отношении выполнения технологических операций по изготовлению сыра существует достаточный объём доступной информации, а также различные курсы по сыроварению. При этом в отличие от промышленного производства, где обеспечен жесткий контроль сырья и технологических операций, в условиях фермерских хозяйств соблюдение всех норм может быть затруднено из-за недостаточной квалификации персонала или отсутствия необходимого оборудования [3]. Это повышает риск микробиологической обсемененности продукции на различных этапах технологического процесса, что негативно сказывается на безопасности и сокращает сроки хранения фермерских сыров по сравнению с промышленными аналогами.

В связи с этим актуальной задачей является разработка технологических решений, позволяющих повысить безопасность и хранимоспособность фермерских сыров (на примере сыров по СТО ФГБНУ ФАНЦА-005-2018 «Сыры ремесленные мягкие») без ущерба для их уникальных органолептических свойств. Перспективным направлением представляется использование натуральных консервантов и антиоксидантов растительного происхождения, таких как экстракт бересты березы «Бетулин».

Кора березы, являющаяся многотоннажным отходом лесоперерабатывающей промышленности, содержит ценные биологически активные вещества. Химический состав бересты березы включает пентациклические тритерпеноиды (бетулин, лупеол и др.), суберин, высшие жирные кислоты, полисахариды и лигнин [4-6]. Бетулин ($C_{30}H_{50}O_2$) — тритерпеновый спирт ряда лупана, представляющий собой порошок от белого до кремового цвета, без запаха. Ему присущи антиоксидантные, антимикробные, эмульгирующие, противогрибковые и дезинфицирующие свойства [7]. Бетулин рекомендован Министерством здравоохранения РФ в качестве биологически активной добавки (БАД) с уровнем потребления 40–80 мг в сутки с возможностью увеличения в несколько раз [8, 9]. Продукты, обогащенные бетулином, оказывают лечебно-профилактическое действие на организм, бетулин включен в список БАД, рекомендованных для оптимизации питания и улучшения здоровья населения [10].

Интерес потребителей к обогащенным и функциональным продуктам питания и здоровому питанию в целом растет на протяжении последних десятилетий, что находит отражение как в государственной политике, так и в предложениях со стороны пищевой индустрии (корректировка ассортимента, разработка новых продуктов и др.) [11-13].

Установлено, что добавление бетулина (бетулинсодержащего экстракта) даже в незначительных количествах (менее 1 % от массы продукта) ингибирует процессы окисления, что способствует увеличению срока годности [14]. Учитывая, что сыр является жиросодержащим продуктом, склонным к окислительной порче, использование природного антиоксиданта бетулина представляется целесообразным. Кроме того, консервирующие и эмульгирующие свойства бетулина также могут положительно повлиять на качество сыров.

Цель исследований — научное обоснование параметров технологических процессов выработки мягких ремесленных сыров с добавлением экстракта бересты «Бетулин» для улучшения их качества, повышения безопасности, получения отличительных органолептических показателей и увеличения хранимоспособности, а также расширения ассортимента.

МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись мягкие ремесленные сыры без созревания: «Сливочный Страчателла», «Буррата Алтайский» и «Старый Барнаул», изготавливаемые из коровьего молока по СТО ФГБНУ ФАНЦА-005-2018 «Сыры ремесленные мягкие».

Основное сырье: молоко коровье, соответствующее требованиям ГОСТ 31449-2013.

В качестве функционального ингредиента использован экстракт бересты березы «Бетулин» (ТУ 10.89.15-003-32227225-2024, ООО «Сады Алтая АГРО»). «Бетулин» представляет собой комплекс веществ природного происхождения (преимущественно бетулина и лупинола, а также других биологически активных веществ, выделенных из бересты березы), предназначен для обогащения пищевых продуктов и производства биологически активной добавки к пище.

В качестве функционально необходимых ингре-

диентов использованы:

– регулятор кислотности глюконо-дельта-лактон (ГДЛ, Е 575) марки «Fooding Group Limited» (Китай), соответствующий требованиям технических регламентов ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 029/2012 (для сыра «Старый Барнаул»;

– закваска М (*Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*) марки LACTOFERM от компании Biochem s.r.l. (Италия);

– сухой сычужно-говяжий фермент СГ-50 производства «Московского завода сычужных ферментов» (Россия), содержащий химозин и говяжий пепсин в соотношении 50 : 50.

В качестве технологически вспомогательного средства использован кальций хлористый (Е509) по ТУ 2162-004-07623164.

Экспериментальные выработки образцов сыров проводились в полуавтоматической мини-сыроварне МСЭМ-40 NEW на 40 л (Россия).

Методы контроля:

– активная кислотность (pH) измерялась потенциометрическим методом в соответствии с ГОСТ 32892-2014 при помощи pH-метра «Testo 206» (компания «Testo», Германия), номер в Госреестре средств измерений РФ ФГИС АРШИН 30759-05;

– органолептическую оценку мягких сыров проводили согласно ГОСТ 33630-2015 по 50-балльной шкале.

Статистическая обработка данных проведена с помощью Microsoft Excel (Microsoft Corporation, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Стандарт СТО ФГБНУ ФАНЦА-005-2018 распространяется на мягкие сыры «Сливочный Страчателла», «Буррата Алтайский» и «Старый Барнаул». Исследования проводились методом сравнения экспериментальных образцов мягких ремесленных сыров с добавлением экстракта бересты «Бетулин» и контрольных образцов данных видов сыров (без добавки).

Технологический процесс получения сыров «Сливочный Страчателла» и «Буррата Алтайский» состоял из следующих операций:

– приемка, сортировка, контроль качества молока и подготовка его к свертыванию;

– подготовка смеси к свертыванию;

– сычужное свертывание молока, обработка сгустка и сырного зерна;

– чеддеризация сырного зерна;

– термомеханическая обработка сырной массы с формированием сырных лент;

– охлаждение сырных лент;

– приготовление сырных нитей из сырных лент (моцарелльной массы);

– приготовление сливочной смеси с экстрактом бересты «Бетулин»;

– соединение сырных нитей со сливочной смесью («Сливочный Страчателла»);

– формирование мешочков с сыром «Сливочный Страчателла» с немедленным охлаждением («Буррата Алтайский»);

– упаковка и доохлаждение сыра.

Ключевым этапом модификации технологии стало введение экстракта бересты на этапе подготовки сливок. В соответствии с технологией производства сыра «Сливочный Страчателла», полученные во время термомеханической обработки сырной массы, сырные ленты немедленно охлаждали в воде с температурой от 8 до 10 °С, затем их разрывали на тонкие нити. К этому времени подготавливали смесь сливок 34 %-ой жирности с «Бетулином». Расчетное количество «Бетулина» вносили во время пастеризации в нормализованные 34 %-ной жирности сливки. Исследовали две дозировки «Бетулина»: $1{,}8 \cdot 10^{-3}$ г и $3{,}6 \cdot 10^{-3}$ г на 1 г жира, содержащегося в сливках. Дозировки «Бетулина» приняты с учётом результатов предыдущих экспериментов [15]. Сырные нити соединяли с охлажденной сливочной смесью, солили (2 % от массы готового продукта) и упаковывали в герметичную потребительскую упаковку.

Согласно СТО ФГБНУ ФАНЦА-005-2018, срок годности сыра «Сливочный Страчателла» (без бетулина) составляет не более 7 суток. Для оценки влияния бетулина на срок годности экспериментальные образцы сыра закладывали на холодильное хранение сроком до 20 суток.

В таблице 1 представлены схемы формирования образцов сыра «Сливочный Страчателла». Дозировки «Бетулина» рассчитаны с учетом жирности сливок и массы готового продукта.

Таблица 1 - Образцы мягкого сыра «Сливочный Страчателла» (расчет на 100 г продукта)

Table 1 - Samples of «Creamy Stracatella» soft cheese (calculated per 100 g of product)

Образец	Количество бетулина		
	в г на 1 г жира	в г на 34 г жира	в %
Контроль	0	0	0
Образец 1	0,0018	0,061	0,061
Образец 2	0,0036	0,122	0,122

На рисунке 1 представлена динамика изменения активной кислотности образцов сыра «Сливочный Страчателла» в процессе хранения (усредненные данные трех повторностей).

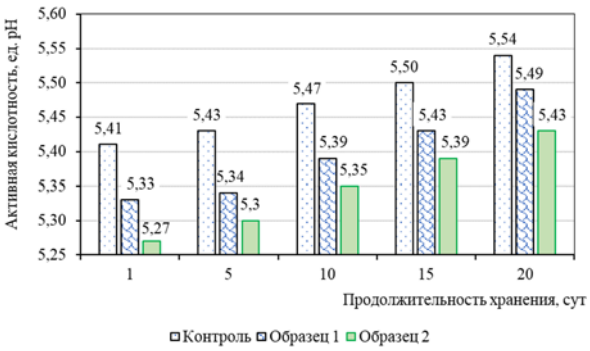


Рисунок 1 – Зависимость активной кислотности сыра «Сливочный Страчателла» от дозировки «Бетулина» и времени хранения

Figure 1 – Dependence of the active acidity of «Creamy Stracciatella» cheese on the dosage of «Betulin» and storage time

Анализ данных (рисунок 1) показывает, что введение экстракта бересты «Бетулина» влияет на динамику pH в процессе хранения мягкого сыра. Контрольный образец характеризовался более высокими значениями активной кислотности на протяжении всего периода хранения. На 10-е сутки хранения в контрольном образце зафиксирован рост pH, свидетельствующий о порче продукта. Образцы с «Бетули-

ном» имели более низкие значения pH с первых суток хранения, что может указывать на положительное влияние экстракта бересты березы на активность заквасочной микрофлоры на начальном этапе (получение моцарелльной массы) и подавление посторонней микрофлоры в дальнейшем. Рост активной кислотности в опытных образцах отмечен лишь к 20-м суткам хранения.

На основе данных pH была проведена органолептическая оценка сыра «Сливочный Страчателла» на 15-е сутки холодильного хранения (Таблица 2).

Таблица 2 – Органолептические показатели сыра «Сливочный Страчателла» на 15-ые сутки хранения

Table 2 – Organoleptic properties of «Creamy Stracatella» cheese after 15 days of storage

Образец	Вкус и запах	Консистенция	Цвет
Контроль	Невыраженный, слабый, нечистый, чуть окисленный	Неоднородная, незначительное выделение сыворотки, моцарельная масса мажущаяся	Неравномерный, с выделением желтых пятен, выделившегося молочного жира
Образец 1	Чистый, сливочный, слегка кисловатый	Однородная, связная, без выделения сыворотки, моцарельная масса слегка слоистая	От белого до кремового равномерного по всей массе
Образец 2	Чистый, сливочный, с легким привкусом бетулина (характеризуется свежестью)	Однородная, связная, пластичная, без выделения сыворотки, моцарельная масса слоистая	От белого до кремового равномерного по всей массе

Установлено, что экстракт бересты в исследуемых количествах действительно оказывает влияние на изменение органолептических показателей мягких сыров во время холодильного хранения. Результаты (таблица 2) подтверждают, что «Бетулин» улучшает структурно-механические свойства продукта, проявляя эмульгирующую функцию. Продукт становится более связным и однородным. Предположительно, бетулин стабилизирует жировые шарики, предотвращая окисление жиров. Сдерживание развития посторонней микрофлоры при сохранении активности закваски позволило увеличить срок годности сыров «Сливочный Страчателла» и «Буррата Алтайский» с 7 до 15 суток.

Таким образом, для увеличения хранимоспособности сыров «Сливочный Страчателла» и «Буррата Алтайский» (начинкой которого является «Сливочный Страчателла»), необходимо введение «Бетулина» в сливки 34 %-ной жирности, предназначенные для смешивания их с моцарельной массой, на стадии их пастеризации.

Оптимальная дозировка «Бетулина» составляет не менее $3{,}6 \cdot 10^{-3}$ г на 1 г жира сливок (что соответствует не более 0,07 % от массы готового продукта с учетом моцарельной массы). При данной дозировке сыр имеет оптимальные физико-химические и органолептические показатели на протяжении всего срока годности, который составляет 15 суток. Кроме того, сыр приобретает легкий привкус и запах бересты, наилучшим образом характеризующийся термином «свежесть».

Технологический процесс получения сыра «Старый Барнаул» состоял из следующих операций:

– приемка и оценка качества сырья;

– подготовка сырья (очистка, охлаждение, промежуточное хранение);

– подогрев, сепарирование молока, нормализация;

– пастеризация смеси;

– термокислотная коагуляция с использованием водного раствора органического подкислителя ГДЛ;

– формование и внесение «Бетулина» (1-ый способ);

– самопрессование сыра;

– посолка сыра и нанесение «Бетулина» (2-ой способ);

– вакуумная упаковка и хранение сыра.

Технология мягкого сыра «Старый Барнаул» была модифицирована двумя способами внесения экстракта бересты: в горячее термокислотное зерно при формовании сырной головки; на поверхность остывшей после самопрессования сырной головки одновременно с посолкой сухой солью. При использовании первого способа внесения «Бетулина» посолка сыра осуществлялась в рассоле. При внесении «Бетулина» в сырное зерно его количество составило 0,07 % от массы зерна, дозировка выбрана с учетом предыдущих экспериментов [15]. При нанесении бетулина на поверхность сырной головки его количество увеличено до 0,10 % от массы сыра (с учетом потерь во время нанесения). Такие способы позволят максимально сократить потери «Бетулина».

Срок годности контрольного образца сыра «Старый Барнаул» согласно СТО ФГБНУ ФАНЦА-005-2018 составляет не более 10 суток. Экспериментальные образцы сыров закладывали на 25 суток холодильного хранения.

На рисунке 2 представлена динамика изменения активной кислотности образцов сыра «Старый Барнаул» в процессе холодильного хранения (усредненные данные трех повторностей), где контроль - образец без бетулина, образец 1 - бетулин внутри (первый способ), образец 2 - бетулин снаружи (второй способ).

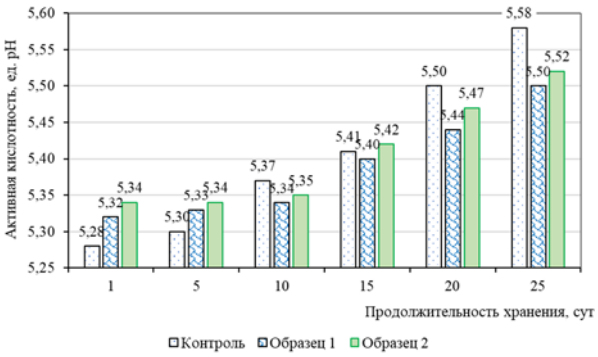


Рисунок 2 - Зависимость активной кислотности сыра «Старый Барнаул» от способа внесения «Бетулина» и времени хранения

Figure 2 - Dependence of the active acidity of «Old Barnaul» cheese on the method of «Betulin» incorporation and storage time

В контрольном образце рост активной кислотности, свидетельствующий о порче, зафиксирован уже на 15-е сутки холодильного хранения (рисунок 2). В образцах с «Бетулином» стабильность значения pH сохранялась до 25 суток. Образец с поверхностным внесением (второй способ) показал незначительно большие значения pH, что объясняется локализацией консерванта на поверхности.

Органолептическая оценка образцов мягкого сыра «Старый Барнаул» на 20-е сутки хранения представлена в таблице 3.

Данные органолептической оценки (табл. 3) коррелируют с данными по активной кислотности (рис. 2). К 20-м суткам холодильного хранения контрольный образец потерял товарные качества как по органолептическим, так и по физико-химическим показателям. Образцы с «Бетулином» сохранили высокие потребительские свойства на протяжении всего периода хранения схожи. Поверхностное внесение «Бетулина» обеспечило более выраженный сырный вкус и чуть более плотную консистенцию.

Таблица 3 - Органолептические показатели сыра «Старый Барнаул» на 20-ые сутки хранения

Table 2 - Organoleptic properties of «Old Barnaul» cheese after 20 days of storage

Образец	Вкус и запах	Консистенция	Цвет
Контроль	Нечистый, чуть щиплющий	Однородная, мажущаяся	От белого до кремового равномерного по всей массе
Образец 1	Чистый, сырный, с привкусом бетулина (свежесть)	Однородная, связная, пластичная	Неравномерный, с включением частиц бетулина (коричневые оттенки)
Образец 2	Чистый, выраженный сырный, привкусом бетулина (свежесть)	Однородная, связная, пластичная, чуть плотная	От белого до кремового равномерного по всей массе на срезе и с неравномерным распределением частиц бетулина (коричневые оттенки) на поверхности

Таким образом, «Бетулин» способствовал увеличению срока годности мягкого сыра «Старый Барнаул» с 10-ти до 20-ти суток с сохранением отличных органолептических показателей, придав продукту дополнительный привкус бересты (свежести).

В технологии рассматриваемых в данной работе мягких ремесленных сыров бетулина вносится около 0,07 %. Из этого следует, что в 100 г сыра содержится 0,07 г или 70 мг экстракта бересты «Бетулин». Таким образом, при употреблении 100 г любого вида сыра поступление бетулина в организм составит 70 мг, что соответствует установленным нормативам.

На основе проведенных серий экспериментов, опытных выработок и полученных данных предложены технологические схемы получения мягких ремесленных сыров с добавлением «Бетулина», разработаны и утверждены соответствующие изменения в СТО ФГБНУ ФАНЦА-005-2018.

Алтайский край имеет 120-летний опыт сыроделия, обладает уникальными природно-климатическими особенностями, а также богатыми культурно-историческими традициями, которые позволяют создавать неповторимые региональные продукты [16]. Молочная продукция с добавлением экстракта бересты березы «Бетулин» обладает большим коммерческим потенциалом за счет эксклюзивности, новизны, оригинальности вкуса и лечебно-профилактических свойств. Таким образом, в перспективе возможно создание нового бренда сыров с бетулином, что в дальнейшем может трансформироваться в бренд территории и способствовать развитию экономики региона.

Научная новизна работы заключается в получении новых знаний о влиянии «Бетулина» на характеристики мягких ремесленных сыров. Практическая значимость заключается в расширении ассортимента фермерской продукции, отличающейся оригинальными вкусовыми свойствами и повышенной хранимоспособностью.

Научная и практическая значимость работы выходит за рамки изученных образцов. Полученные результаты не только решают поставленные в работе задачи, но и открывают новые горизонты для дальнейших исследований и практической реализации.

Представляет интерес изучение возможности создания линейки сыров с различной концентрацией бетулина, что позволит удовлетворять запросы разных групп потребителей: от продуктов с мягким профилактическим действием до продуктов с выраженным функциональным эффектом.

Полученные данные о положительном влиянии бетулина на хранимоспособность и органолептические свойства мягких сыров открывают перспективы для его применения в технологии других групп сыров, в том числе полутвердых, твердых и рассольных, а также сыров с плесенью. В каждом конкретном случае потребуется адаптация дозировок и способов внесения препарата с учетом особенностей микрофлоры и технологии.

Успешный опыт применения бетулина в качестве натурального консерванта и эмульгатора в сыроделии может быть экстраполирован на другие жиросодержащие молочные продукты, такие как сливочное масло, сливки, кисломолочные напитки и десерты. Это позволит решать общую для отрасли проблему продления сроков годности без использования синтетических добавок.

Перспективным направлением является изучение комбинированного действия бетулина с другими натуральными антиоксидантами и консервантами (например, экстрактами трав, эфирными маслами, токоферолами). Это позволит не только усилить консервирующий эффект, но и создавать продукты с заданными органолептическими и функциональными свойствами.

Использование бетулина, получаемого из многотоннажного отхода лесной промышленности (бересты), полностью соответствует принципам «зеленой» химии и циркулярной экономики (экономика замкнутого цикла). Масштабирование технологии позволит решать не только продовольственные задачи, но и задачи рационального природопользования и импортозамещения пищевых ингредиентов.

ВЫВОДЫ

Получены новые научные данные о совместном влиянии молочного сырья, экстракта бересты березы

«Бетулина» и технологических параметров на качество мягких ремесленных сыров («Сливочный Страчателла», «Буррата Алтайский» и «Старый Барнаул» по СТО ФГБНУ ФАНЦА-005-2018).

Добавление экстракта бересты березы «Бетулина» позволяет получить мягкие ремесленные сыры с отличными органолептическими показателями и увеличенной хранимоспособностью. Срок годности сыров «Сливочный Страчателла» и «Буррата Алтайский» увеличен с 7 до 15 суток, сыра «Старый Барнаул» – с 10 до 20 суток. Разработаны и утверждены изменения в СТО ФГБНУ ФАНЦА-005-2018, регламентирующие порядок включения бетулина в технологию мягких ремесленных сыров.

Предложены новые технологические решения в производстве мягких ремесленных сыров: обосновано совмещение молочного сырья, сырного зерна и/или готового продукта с «Бетулином», подобран оптимальный момент внесения и дозировка «Бетулина» для получения отличных показателей вкуса и качества мягких ремесленных сыров. Оптимальные режимы внесения «Бетулина»: для сыров типа страчателла и буррата – в сливки на этапе пастеризации (не менее $3{,}6 \cdot 10^{-3}$ г на 1 г жира); для термокислотных сыров – в зерно или на поверхность (0,07–0,10 % от массы).

Продукты обогащены биологически активными веществами: содержание бетулина в 100 г мягкого ремесленного сыра «Сливочный Страчателла», «Буррата Алтайский» или «Старый Барнаул» составляет около 70 мг, что соответствует рекомендации Минздрава РФ (40–80 мг/сутки, причем существуют клинико-биологические предпосылки для повышения этого уровня).

Внедрение предлагаемой технологии мягких ремесленных сыров, обогащенных бетулином, может способствовать созданию регионального бренда продукции с уникальными потребительскими свойствами, что имеет значительный экономический потенциал для Алтайского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудков, А. В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты / А. В. Гудков. – под ред. С. А. Гудкова. – М.: ДеЛи принт, 2003. – 800 с.

2. Рыбалова Т. И. Фермерские сыры: недооцененный в России бизнес // Сыроделие и маслоделие. 2015. № 1. С. 12-15.

3. Райчева Е. Ю. Международная академия сыра для сыроделов-фермеров // Сыроделие и маслоделие. 2016. № 3. С. 26-28.

4. Кузнецов Б.Н., Левданский В.А., Кузнецова С.А. Химические продукты из древесной коры. Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2012. 260 с.

5. Ведерников Д.Н., Шабанова Н.Ю., Рощин В.И. Изменение химического состава корки и луба березы повислой Betula pendula Roth. (Betulaceae) по высоте дерева // Химия растительного сырья. 2010. № 2. С. 43-48.

6. Miranda I. et al. Fractioning and chemical characterization of barks of Betula pendula and Eucalyptus globules // Industrial Crops and Products. 2013. Т. 41. P. 299-305.

7. Патент РФ №: 2308837 A23C 3/08. Способ консервирования молока и молочных продуктов / Ткаченко Ю.А., Клабукова И.Н., Кислицын А.Н., Трофимов А.Н. - Опубл. 27.10.2007.

8. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) от 28 мая 2010. docs.cntd.ru. URL: https://docs.cntd.ru/document/902249109 (дата обращения 20.01.2026).

9. Аверьянова Е.В., Школьникова М.Н. Повышение эффективности бетулинсодержащих пищевых ингредиентов из бересты березы повислой (Betula pendula Roth.) в составе пищевых систем // Химия растительного сырья. 2022. № 4. С. 333-341.

10. Единый реестр свидетельств о государственной регистрации. - URL: https://portal.eaeunion.org/sites/odata/_layouts/15/portal.eec.registry.ui/directoryform.aspx?viewid=71dddb50-5130-494e-a09a-303f7e132806&listid=0e3ead06-5475-466a-a340-6f69c01b5687&itemid=231#f=Бетулин (дата обращения 20.01.2026).

11. Мусина О.Н. Новые молочные продукты для здорового питания // Переработка молока. 2016. № 1(195). С. 32-35.

12. Современные технологические процессы пищевых производств / В. Н. Андреев, И. А. Бакин, Д. М. Бородулин [и др.]. Москва : Российский государственный аграрный университет, 2025. 130 с. ISBN 978-5-9675-2070-9.

13. Мусина О. Н. Современное состояние биотехнологии комбинированных молочных продуктов (обзор). 1. Предпосылки и принципы создания комбинированных молочных продуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. № 3. С. 59-63.

14. Изменения элементов микроструктуры масла сливочного с антиоксидантным комплексом в процессе хранения / А.О. Куприна, А.В. Мамаев, А.П. Симоненкова и др. // Техника и технология пищевых производств. 2015. № 1 (36). С. 41-47.

15. Мусина О.Н., Усатюк Д.А., Бондаренко Н.И. Бетулин - перспективный ингредиент для молочной промышленности // Ползуновский вестник. 2025. № 2. С. 121-126.

16. Регионы-лидеры сыроделия: создание собственных сырных брендов и их трансформация в бренды территорий / Н.М. Сурай, А.Л. Таточенко, А.А. Терехова и др. // Сыроделие и маслоделие. 2024. № 1. С. 10-25.

Информация об авторах

О. Н. Мусина - д-р техн. наук, проф. кафедры технологии продуктов питания, гл. науч. сотр. ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Д. А. Усатюк - науч. сотр. лаб. научно-прикладных технологических разработок «Сибирского НИИ сыроделия» ФГБНУ ФАНЦА.

Information about the authors

O. N. Musina – D.Sc., Professor of the Institute for Biotechnology, Food and Chemical Engineering, Chief Researcher, Polzunov Altai State Technical University.

D. A. Usatiuk - research scientist, lab. of scientific and applied technological developments of the "Siberian Research Institute of Cheese-Making», FASCA.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 64–67.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 64–67.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.0010 EDN: PUCLIH

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ МИКРОБНОГО СИНТЕЗА

Галия Ергешевна Кокиева [1], Шапошников Юрий Андреевич [2], Трофимова Варвара Семеновна [3]

[1, 3] Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В. Р. Филиппова, Улан-Удэ, Россия
[2] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[1] kokievagalia@mail.ru
[2] u_shaposhnikov@mail.ru
[3] trofimovarvara15@mail.ru

Аннотация. *Производительность ферментатора любой конструкции определяется совокупностью гидродинамических, массообменных, тепловых, технологических и микробиологических условий. Под двумя последними условиями понимают качество исходного сырья, соблюдение оптимальных параметров ведения технологического процесса по концентрации питательных солей, микроэлементов, количеству возвращаемой в ферментатор отработанной бражки, состоянию дрожжевой культуры и т.п.*

В зависимости от технологических и микробиологических факторов при одинаковых гидродинамических, массообменных и тепловых условиях, производительность аппарата может колебаться более чем в два раза. Технологические и микробиологические условия не зависят от конструкции ферментатора и, следовательно, при его проектировании конструкторы в первую очередь несут ответственность за достижение в аппарате заданных условий по интенсивности перемешивания, массообмена и теплообмена, которые определяются правильностью расчета основных конструктивных элементов и режимов работы ферментатора. Модернизация этих аппаратов является основным направлением как в усовершенствовании основного ферментационного оборудования для производства белково-витаминного концентрата (БВК), так и создании новых высокоэффективных конструкции аппаратов. Сравнение нормализованных характеристик позволило выделить перспективные технические направления в создании ферментаторов для производств кормового белка. Правильный выбор конструкции ферментатора и его производительности в значительной степени определяет экономическую эффективность любого микробиологического производства. Целью исследований является повышение выхода биомассы БВК посредством разработки научно-методологических основ для совершенствования технологии и оборудования при производстве концентрата. В данной статье приведены данные по разработке белково-витаминного концентрата предназначенного для восполнения дефицита кормового белка.

Ключевые слова: *ферментатор, белково-витаминный концентрат (БВК), трехфазная система, массообмен, гидродинамическая обстановка, затраты энергии, схема модели аппарата, статистическая значимость.*

Для цитирования: Кокиева Г. Е., Шапошников Ю. А., Трофимова В. С. Исследование оборудования микробного синтеза // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 64–67. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.010. EDN: https://elibrary.ru/PUCLIH.

Original article

RESEARCH ON MICROBIAL SYNTHESIS EQUIPMENT

Galiya E. Kokieva [1], Yuriy A. Shaposhnikov [2], Varvara S. Trofimova [3]

[1, 3] Buryatian State Agricultural Academy, Ulan-Ude, Russia
[2] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[1] kokievagalia@mail.ru
[2] u_shaposhnikov@mail.ru
[3] trofimovarvara15@mail.ru

Abstract. *The performance of a fermenter of any design is determined by the totality of hydrodynamic, mass transfer, thermal, technological, and microbiological conditions. The latter two conditions refer to the quality of the initial raw materials, adherence to optimal parameters for conducting the technological process regarding the concentration of nutrient salts, microelements, the amount of spent mash returned to the fermenter, the state of the yeast culture, and so on.*

Depending on the technological and microbiological factors, with identical hydrodynamic, mass transfer, and thermal conditions, the apparatus's performance can fluctuate by more than twofold. Since technological and microbiological conditions are independent of the fermenter design, designers are primarily responsible for achieving the specified conditions regarding the intensity of mixing, mass transfer, and heat transfer within the apparatus. These intensities are determined by the correctness of the design calculations for the main structural elements and the operating modes of the fermenter. The modernization of these devices is the main direction both in improving the primary fermentation equipment for PVC

© Кокиева Г. Е., Шапошников Ю. А., Трофимова В. С., 2026

production and in creating new highly efficient apparatus designs. Comparing normalized characteristics made it possible to identify promising technical avenues in the creation of fermenters for feed protein production. The correct choice of fermenter design and its performance largely determines the economic efficiency of any microbiological production.

The goal of the research is to increase the yield of PVC biomass through the development of scientific and methodological foundations for improving the technology and equipment used in the production of protein-vitamin concentrate. This article presents data on the development of a protein-vitamin concentrate intended to replenish the deficit of feed protein.

Keywords: *fermenter, protein-vitamin concentrate (PVC), three-phase system, mass transfer, hydrodynamic conditions, energy consumption, apparatus model scheme, statistical significance.*

For citation: Kokieva G. E., Shaposhnikov Yu. A. & Trofimova V. S. (2026). Research on microbial synthesis equipment. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 64-67. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.010. EDN: https: //elibrary.ru/ PUCLIH.

ВВЕДЕНИЕ

Выращивание микроорганизмов с целью получения биомассы (кормового белка) является сложным процессом, который происходит в трехфазной системе газ-жидкость-клетка. Ферментатор должен быть рассчитан таким образом, чтобы его основные конструктивные элементы и режимы работы обеспечили необходимые условия для жизнедеятельности микроорганизмов. Такими условиями являются: обеспечение необходимой скорости переноса кислорода из газовой фазы в жидкую, обеспечение необходимой скорости переноса кислорода из жидкой фазы к клетке, равномерное распределение клеток, питания, солей, микроэлементов и других технологических параметров по объему среды, обеспечение необходимой скорости переноса продуктов метаболизма от клетки в объем среды. Модернизация является основным направлением как в усовершенствовании основного ферментационного оборудования производства белково-витаминного концентрата, так и создании новых высокоэффективных конструкции аппаратов. Сравнение нормализованных характеристик позволило выделить перспективные технические направления в создании ферментаторов для крупнотоннажных производств БВК. Ферментаторы являются аппаратами с высокой интенсивностью процессов перемешивания и массообмена.

Барботажные колонные ферментаторы выполняются в виде вертикальной емкости с размещенными газораспределительными устройствами.

МЕТОДЫ

При проведении работы использовались стандартные методики, соответствующие установленным ГОСТам. Все анализы проводились в тройной повторности. Для оценки погрешностей использовался критерий Стьюдента, что позволило учесть статистическую значимость полученных данных и обеспечить надежность выводов-разработка новой технологии приготовления кормовых дрожжей;

В программу исследования включались:

-подготовка лабораторной установки, изготовление рабочих органов к ней;

-подбор измерительной аппаратуры и разработка методики экспериментов;

-подтверждение основных теоретических положений по выявлению процесса роста микроорганизмов и выходу биомассы продукта на ферментёре новой конструкции;

-оценка влияния перемешивающего устройства на характер процесса, качество продукции (рост и выход биомассы).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Схема модели аппарата лабораторного ферментатора (рисунок 1), который представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд с эллиптическим, сферическим или плоским днищем. Воздух к мешалке подводится через общий коллектор, подключенный к ротационным газодувкам. Культуральная среда засасывается насосом в аппарат и подается в верхние слои культуральной жидкости.



Рисунок 1 – Лабораторный ферментатор

Figure 1 – Laboratory Fermentor

Внутри аппарата по его оси, установлено перемешивающие устройство, состоящее из вала и расположенной на ней мешалке. В качестве диспергатора воздуха используется полая перфорированная мешалка и полый вал, через который поступает воздух. На рисунке 2 представлено перемешивающее устройство в сборке [1-4].

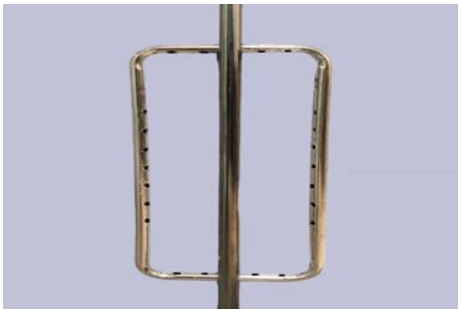


Рисунок 2 – Перемешивающее устройство в сборе

Figure 2 – Mixing device assembly

При этом должны соблюдаться следующие условия:

- Рабочая вместимость аппарата не более: 100 м3;

диспергатор-турбинная мешалка-располагается на расстоянии 0,75…1 d_m от днища ферментатора.

- Диаметр диспергатора dд=dм (dм - диаметр мешалки);

- Отношение составляет: dм · D-1 = 0,2…0,3 (D – диаметр ферментатора);

- Число ярусов мешалок (mя*) принимаем: I…4;

- Расстояние между мешалками составляет: (I…2) dм;

- Окружная скорость мешалки (Wt) до 20 м·с$^{-1}$;

- Скорость воздуха, приведенная к сечению ферментатора (Wr): 0,01…0,07 м*с-l;
- Время гомогенизации (t): 120…300 с;
- Давление (Ра) над зеркалом жидкости равно атмосферному;
- Высота жидкости не более 8 м.

Методика базируется на системе следующих основных эмпирических и аналитических уравнений. Включающих исходные данные и подлежащие определению параметры [2,12]:

$$M = \alpha^{O2} \cdot X \quad (1)$$

$$Vp = \varphi \cdot (24 \cdot \text{Х})^{-1} \quad (2)$$

$$M = K_L \cdot \alpha \cdot \Delta C \quad (3)$$

$$V\text{г} = V_P \cdot V_V \quad (4)$$

$$K_L = Q = 30 \dots 35 \quad (5)$$

$$\tau = 120 \dots 300 = 225Q^{0.27} \cdot m_{\text{я}}{}^{-0.32} \quad (6)$$

$$Vp\ 0.785(0{,}2 \dots 0{,}3)^{-1} \cdot (1 \dots 2)\, m_{\text{я}} \cdot m_{\text{я}} \quad (7)$$

$$K_L = N_{0\text{т}} = 0{,}26\ (\text{при } K_{10\text{пт}} = 35) \quad (8)$$

$$H_o = (1 \dots 2)\, d_{\text{м}} \cdot m_{\text{я}} \quad (9)$$

$$N^M = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_{\text{м}}{}^5 \quad (10)$$

$$P_H = P_{\text{В}} = V_{\text{Г}} \cdot ln(P_H / P_{\text{В}} \quad (11)$$

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{В}} + 0{,}05H_o \quad (12)$$

$$\text{К}_L a = 0.8N_V{}^{0.6} \cdot n^{0.2} \cdot m_{\text{я}}{}^{0,47} \cdot (d_{\text{м}}/D)^{1,8} \quad (13)$$

$$\Delta C = \text{Ук} \cdot P_{\text{ср}} \cdot Mp^{-1} \quad (14)$$

$$\text{Ук} = (Vv \cdot \text{Ум} - \text{М}/\rho\text{O}_2)/(Vv - \text{М}/\rho\text{O}_2) \quad (15)$$

где: М - скорость растворения кислорода, кг O_2*м$^{-3}$* ч$^{-1}$; Vp - рабочая вместимость аппарата м^3; $V\text{г}$ - расход газа, м^3*с$^{-1}$; τ - время гомогенизации, с; K_L - коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, отнесенный к поверхности контакта фаз, м*с$^{-1}$; α^{O2} - расходный коэффициент по кислороду, кг *кг$^{-1}$; X - концентрация абсолютно сухой биомассы, кг *м$^{-3}$; φ - среднее газосодержание, об.доля, %; $\text{К}_L a$ - объемный коэффициент массопередачи, с$^{-1}$; С - концентрация кислорода в жидкой фазе, кг *m^{-3}; V_V - удельный объемный расход газа, м^3*с$^{-1}$; N - мощность перемешивания; ρ -плотность, кг*м^3; n - частота вращения, с$^{-1}$; р – давление.

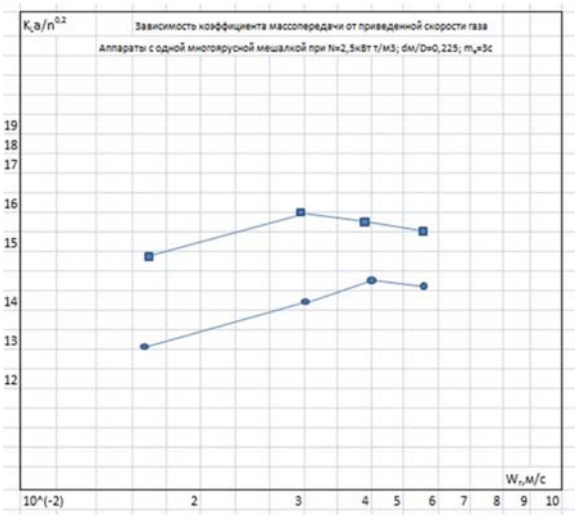


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента массопередачи от приведенной скорости газа

Figure 3 – Dependence of the mass transfer coefficient on the superficial gas velocity

ОБСУЖДЕНИЕ

С увеличением приведенной скорости воздуха газосодержание возрастает и распределяется более равномерно при работе мешалки. Максимальное газосодержание наблюдается в зоне мешалки и включение соседней мешалки при этом же расходе воздуха приводит к перераспределению газосодержания, в результате чего среднее значение газосодержания увеличивается. При увеличении нагрузки по газу наблюдается веерообразное расслаивание экспериментальных точек (рис.3).

На рисунке 4 приведена зависимость удельной скорости роста микроорганизмов в зависимости от поглощения глюкозы. Наиболее интенсивное потребление сахаров происходит в начальный момент процесса, причем поглощение глюкозы микробными клетками происходит с максимальной скоростью.

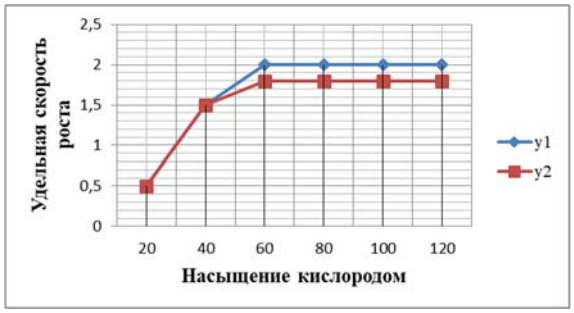


Рисунок 4 – Удельная скорость роста микробных клеток от концентрации насыщенного субстрата и концентрации биомассы

Figure 4 – Specific growth rate of microbial cells as a function of saturated substrate concentration and biomass concentration

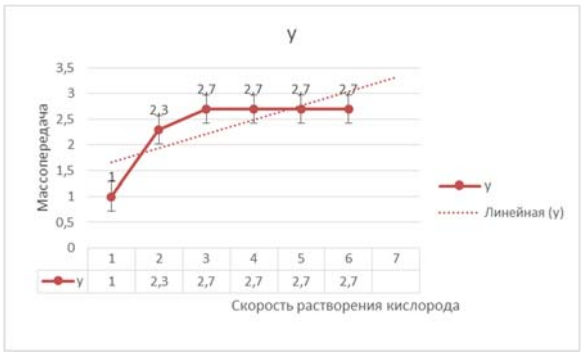


Рисунок 5 – Скорость растворения кислорода

Figure 5 – Oxygen Dissolution Rate

Анализируя влияние скорости воздуха на скорость растворения кислорода для различных конструкции, можно отметить линейную зависимость между этими параметрами. Величина удельных энергозатрат характеризует экономику процесса растворения кислорода и эффективность конструкции, то необходимо определить, как влияют гидродинамические параметры-приведенная скорость воздуха и рабочее давление-на эту величину [1-16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследовании гидродинамической обстановки установлен характер зависимости основных гидродинамических характеристик, а также технологических параметров от конструкции ферментатора и режимов его работы.

Конструкция ферментатора наиболее эффективна, если установка которой в технологическую линию даст минимальную себестоимость готовой продукции. Решающим фактором в этом случае являются затраты энергии на получение биомассы и растворение кислорода на стадии ферментации.

Правильный выбор конструкции ферментатора играет важную роль в создании экономичного производства кормового белка для вскармливания сельскохозяйственным животным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев, М. Г. Организационно-экономические основы развития кормопроизводства в Республике Саха (Якутия) : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Афанасьев Максим Гаврильевич. Якутск, 2007. 165 с. EDN GUKGCF.

2. Безгина А.С., Гулякин Д.В. Методы проведения теоретических и эмпирических исследований // Мир педагогики и психологии: международный научно-практический журнал. 2025. № 07 (108).

3.Войнаш, С.А. Метод биологической обработки сельскохозяйственных отходов путем микробного синтеза // Основы и перспективы органических биотехнологий. 2020. № 3. С. 3-8.

4. Дарбасова, Л.А., Васильева, Т.И. Математическая модель производительности ферментатора при непрерывном процессе производства БВК/ Л.А. Дарбасова, Т.И. Васильева// Научно-технический вестник Поволжья, 2018. № 10. С. 82-84;

5. Дюкарев, В.В. Кормовые добавки в рационах животных: Теория и практика / В.В. Дюкарев, А.Г. Ключковский, И.В. Дюкар. - М.: Агропромиздат, 2009. С. 279.

6. Иванов, Р.В., Пермякова, П.Ф. Научные основы совершенствования технологии кормления и содержания лошадей якутской породы. Часть II. Опыты на взрослых лошадях. Монография. Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2018. 112 с.;

7. Кузнецов, Н.И., Воротников, И.Л. и др. Перспективы научно-технологического развития переработки сельскохозяйственного сырья: производство готовых кормов для животных. Саратов ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. 27 с

8. Лаврентова, В. Рынок протеиновых ингредиентов комбикормов // Сельскохозяйственное обозрение, 2017. № 11. С. 32-50.

9. Ишевский, А.Л., Гунькова, П.И., Успенская, М.В. Практическая биотехнология Учебное пособие по направлению подготовки 12.04.04, 18.04.02, 19.04.01, 19.04.02, 19.04.03 в качестве учебного пособия для реализации основных профессиональных образовательных программ высшего образования магистратуры / Санкт-Петербург, 2023.

10. Кокаева, М.Г. Влияние биологически активных препаратов на гематологические показатели коров / М.Г. Кокаева, Д.О. Гурциева // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. 2016.Т. 2 № 5 С. 80-85.

11. Кокиева, Г. Е. Математическое моделирование аппарата для культивирования микроорганизмов с подводом кислорода, содержащим механическое перемешивающее устройство / Г. Е. Кокиева, И. А. Савватеева, Т. Г. Дмитриева // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 9. С. 48-50. EDN VJXGEQ.

12. Кокиева, Г.Е. Эксплуатация ферментатора в сельском хозяйстве: монография// Г. Е. Кокиева. Барнаул, 2016. 120 с.;

13. Increase of Animal Products by Means of Complete Feed Provision / A. G. Cherkashina, S. V. Stepanova, A. V. Spiridonova, R. G. Kalininsky // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, City of Vladivostok, 25–26 января 2021 года. City of Vladivostok, 2021. P. 012118. DOI 10.1088/1755-1315/720/1/012118. EDN LDKQSB.

14. Pozdieiev, S.V., Nizhnyk, V.V., Ballo, Y.V., Nuianzin, A.M., Uhanskyy, R.V., Kropyvnytskiy, V.S. The rationale for a safe distance between fermenters for biogas production // Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza. 2018. T. 51. № 3. C. 60-67.

15. Kwak J.H., Baek S.H., Woo Y. Beneficial immunostimulatory effect of short-term Chlorella supplementation: enhancement of natural killer cell activity and early inflammatory response (randomized, double blinded, placebo-controlled trial) // Nutr. J. 2012. Vol. 11. P. 53.

16. Otsuki T., Shimizu K., Iemitsu M., I. Kono Salivary secretory immunoglobulin A secretion increases after 4-weeks ingestion of chlorella-derived multicomponent supplement in humans: a randomized cross over study // Nutr. J. 2011. Vol. 10. P. 91.

Информация об авторах

Г. Е. Кокиева – доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис в АПК и общеинженерные дисциплины» Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова.

Ю. А. Шапошников – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт и наземные технологические системы» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

В. С. Трофимова – ассистент кафедры «Технический сервис в АПК и общеинженерные дисциплины» Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова.

Information about the authors

G. E. Kokieva – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Technical service in agriculture and general engineering disciplines» at the Buryat State Agricultural Academy.

Yu. A. Shaposhnikov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Automobile transport and ground technological systems» of the Polzunov Altai State Technical University.

V. S. Trofimova – Assistant Professor of the Department of «Technical service in agriculture and general engineering disciplines» at the Buryat State Agricultural Academy.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 68–72.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 68–72.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.514.9 652
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.011 EDN: CGKUKR

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУРИНЫХ СУБПРОДУКТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ РУБЛЕНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Валентина Николаевна Гетманец

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет», Барнаул, Россия
getmanecv@mai.ru, https://orcid.org/0000 0002-1366-2922

Аннотация. *Исследование относится к пищевой промышленности для производства комбинированных изделий из мясного сырья и субпродуктов цыплят-бройлеров. Целью исследований является разработка технологии рубленых изделий из филе цыплят-бройлеров и субпродуктов с получением готовой продукции с хорошими органолептическими показателями высокого качества и с целью рационального использования продукции птицеводства. Для составления мясного фарша были использованы мышечные желудки и сердечки птицы в охлажденном состоянии в соответствии с ГОСТ 31657-2012. Максимальную оценку в 4,9 баллов получили рубленые изделия из филе цыплят-бройлеров, так же оценили и опытные образцы №1, в состав которых входили филе цыплят-бройлеров и мышечные желудки в соотношении 1:1. Котлеты, приготовленные на основе куриных сердечек, получили наименьшее количество баллов, дегустаторы снизили баллы за запах, сочность и вкус. Наибольшее содержание белка было у изделий, приготовленных на основе мышечных желудочков 20,1 %, при меньшем содержании жира. Потери при тепловой обработке меньше оказались у котлет, в состав которых входили мышечные желудки, они составили 8-11 %. Был получен продукт с уникальными потребительскими показателями с меньшей сырьевой себестоимостью.*

Ключевые слова: *мясо цыплят-бройлеров, субпродукты, мышечные желудки, куриное сердце, рубленые изделия, котлеты, органолептические показатели, выход, тепловая обработка*

Для цитирования: Гетманец В. Н. Целесообразность использование куриных субпродуктов в производстве рубленых полуфабрикатов // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 68–72. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.011. EDN: https://elibrary.ru/CGKUKR.

Original article

FEASIBILITY OF USING CHICKEN BY-PRODUCTS IN PRODUCTION CHOPPED SEMI-FINISHED PRODUCTS

Valentina N. Getmanets

Altai State Agrarian Univarsity, Barnaul, Russian Federation
getmanecv@mai.ru https://orcid.org/0000 0002-1366-2922

Abstract. *The study relates to the food industry for the production of combined products from raw meat and offal of broiler chickens. The purpose of the research is to develop a technology for minced products from broiler chicken fillets and offal to obtain finished products with good organoleptic indicators of high quality and for the purpose of rational use of poultry products. For the composition of minced meat, chilled muscle stomachs and poultry hearts were used in accordance with GOST 31657-2012. The maximum score of 4.9 points was received by minced products from broiler chicken fillets, and the same was also assessed for test samples No. 1, which included broiler chicken fillets and muscle stomachs in a ratio of 1:1. Cutlets prepared on the basis of chicken hearts received the lowest number of points, tasters reduced the points for smell, juiciness and taste. The highest protein content was in products prepared on the basis of muscular stomachs 20.1 %, with a lower fat content. Losses during heat treatment were less in cutlets, which included muscular stomachs, they amounted to 8-11 %. A product with unique consumer indicators with a lower raw material cost was obtained.*

Keywords: *broiler chicken meat, offal, muscle stomachs, chicken heart, minced meat, cutlets, organoleptic characteristics, yield, heat treatment*

For citation: Getmanets V. N. (2026). Feasibility of using chicken byproducts in the production of chopped semi-finished products *Polzunovskiy vestnik*, (1), 68-72. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.011. EDN: https: //elibrary.ru/CGKUKR.

ВВЕДЕНИЕ

Одну из ключевых ролей в экономике Алтайского края играет мясоперерабатывающая отрасль, в том числе птицеводство. Птицеводство играет огромную роль в обеспечении продовольственной безопасности страны и мира, так как обеспечивает население мясом птицы, которое является источником высококачественного животного белка [1].

Биологическая ценность куриного мяса главным образом определяется высоким содержанием не только

© Гетманец В. Н., 2026

белка, но и содержанием незаменимых аминокислот.

В мясной отрасли Алтайского края функционирует более 340 предприятий, в том числе 12 предприятий по убою и переработке мяса птицы.

В 2024 году объем производство мяса птицы в России увеличился на 1,8 % и составил 90 тыс. тонн. Доля Алтайского края от Российского производства мяса и субпродуктов сельскохозяйственной птицы незначительна и составляет 1,33 %. В Сибирском федеральном округе наш край занимает 2 место.

По данным Росстата в 2024 году по России доля производства мяса птицы в общем объеме промышленного составила -51,5 %, в Алтайском крае этот показатель -55,1 %.

Спрос на мясо птицы постоянно увеличивается, в связи с этим отрасль птицеводства сталкивается с необходимостью оптимизации процессов переработки продукции птицеводства. Одним из направлений является рациональное использование куриных субпродуктов.

Субпродукты птицы содержат белок, жир, минеральные вещества и витамины, которые необходимы для организма. Использование субпродуктов снижает потери сырья и решает вопрос с их утилизацией [2]. Переработка куриных субпродуктов дает возможность для разработки и внедрения новых пищевых продуктов [3].

Максимально развивающимся направлением в пищевой отрасли остается производство полуфабрикатов из мяса, ученые разрабатывают совместно с производителями и предлагают потребителю новые продукты, за последнее время создан большой ассортимент мясных изделий [4 - 7].

Так как субпродукты птицы богаты веществами, которые способны активизировать защитные силы организма, улучшать состав крови и нормализовать обмен веществ, в связи с этим замена мяса кур цыплят-бройлеров на субпродукты в виде мышечных желудков и сердечек цыплят-бройлеров является перспективным для здорового питания. Цель исследований разработать технологию рубленых полуфабрикатов с использованием куриных субпродуктов.

Для реализации цели и обоснования использование куриных субпродуктов в технологии рубленых полуфабрикатов определили ряд задач:

- обосновать целесообразность использования субпродуктов птицы в рецептуре рубленых полуфабрикатов;
- составить различные рецептурные композиции из мяса цыплят-бройлеров с куриными субпродуктами;
- установить влияния сырья на показатели готовых изделий;
- рассчитать выход готовых образцов.

МЕТОДЫ

В ходе проведения исследований было использовано следующее сырьё:

- филе цыплят-бройлеров;
- куриные субпродукты (мышечные желудки и сердечки);
- различные рецептурные композиции рубленых изделий на основе филе цыплят-бройлеров и куриных субпродуктов.

Всё сырьё для приготовления мясных рубленых изделий отвечало требованиям нормативно-технической документации на продукцию ТР ТС 021/2011, ТР ТС 034/2013 [8, 9].

Объектами исследований выступили – рецептурные композиции рубленых полуфабрикатов из фарша на основе филе цыплят-бройлеров и куриных субпродуктов.

Органолептические показатели готовых изделий определяли путем дегустации в соответствии с ГОСТ 9959-2015 «Мясо и мясные продукты» по 5-ти балльной шкале (5- отличное качество; 4- хорошее качество; 3- удовлетворительное качество; 2- плохое качество; 1- очень плохое качество) [10].

Массовую долю белка определяли методом Кьельдаля согласно ГОСТ 25011-2017 «Мясо и мясные продукты. Методы определения белка» [11]. Масса каждого образца для анализа - 2 г.

Массовую долю жира в соответствии с методом экстракции согласно ГОСТ 23042-2015 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира» [12]. Масса каждого образца для анализа -1,5 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оптимизации рецептур были приготовлены контрольный и 5 опытных видов рубленых изделий, согласно разработанной схеме исследования (табл. 1).

Таблица 1 - Состав образцов фарша для приготовления рубленных полуфабрикатов.

Table 1 – Sostav obraztsov farsha dlya prigotovleniya rublennykh polufabrikatov.

Основное сырье	контроль	опытные				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Филе цыпленка-бройлера	+	+		+		
Субпродукты:						
желудочки		+	+			+
сердечки				+	+	+

Таким образом, контрольные образцы котлет были приготовлены на основе филе цыплят-бройлеров, опытные с использованием субпродуктов в различных сочетаниях, из них основа для образца №1 состояла из куриных мышечных желудков и филе цыплят-бройлеров в соотношении 1:1. Для образца №2 были использованы только мышечные желудки. Основа фарша образца №3 включала филе и куриные субпродукты (сердечки цыплят-бройлеров) в соотношении 1:1. Опытный образец №4 состоял только из куриных сердечек, в рецептуру опытного образца 5 входили куриные субпродукты в соотношении 1:1 (мышечные желудки и сердечки).

Для целесообразности использования куриных субпродуктов и приготовления рубленых полуфабрикатов рассмотрим их основные характеристики.

Внешний вид охлажденных субпродуктов отражен на рисунке 1.

Химический состав подтверждает целесообразность использования куриных субпродуктов в качестве сырья для производства рубленых полуфабрикатов, так как содержание белка в мышечных желудках составляет 20,2 %, в сердечках 15,5 %, при содержании жира соответственно 6,5 и 8,7 %.

Необходимо отметить, что по содержанию витаминов и минеральных веществ куриные субпродукты превосходят филе цыплят-бройлеров. В сердечках содержится много витаминов группы В, особенно B_{12} (60 % от дневной нормы) из минеральных веществ особенно много селена (40 % от рекомендуемой дневной нормы), железо (30 %), фосфора (25 %) и др.



Рисунок 1 - Внешний вид субпродуктов / Figure 1 – Vneshniy vid subproduktov.

Оценку внешнего вида, цвета и запаха субпродуктов проводили визуально, пищевую ценность определяли в лаборатории данные сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Основные показатели субпродуктов / Table 2 – Osnovnyye pokazateli subproduktov

Показатель	Мышечный желудок	Куриное сердце
Характеристика субпродуктов	Обработанный мышечный желудок различного способа и формы разрезания, без содержимого, кутикулы, прилегающих внутренних органов и жира	Обработанное сердце без наружных кровеносных сосудов, сгустков крови, загрязнений, околосердечной сумки, с наличием около мышечного жира.
Цвет и запах	специфические, свойственные субпродуктам определенного вида птицы, без посторонних цвета и запаха.	
Массовая доля белка, %	20,2	15,5
Массовая доля жира, %	6,5	8,7

В куриных желудках содержится много ниацина (20,6 % от суточной нормы), который помогает усваивать макронутриенты, этот субпродукт богат и минеральными веществами, такими как селен (46,4 % от суточной нормы) цинк (22,5 % от нормы), железо, магний и др.

Все показатели субпродуктов птицы соответствовали требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 31657-2012 «Субпродукты птицы» [13].

В технологии производства можно выделить следующие этапы:

входной контроль сырья и его приемка. Контроль качества сырья и ингредиентов проводили согласно нормативно-технической документации.

Подготовка сырья и ингредиентов. Мясо цыплят-бройлеров измельчили механическим способом с использованием мясорубки до размера частиц 12-23 мм.

Подготовили куриные субпродукты. Сердечки цыплят-бройлеров освободили от околосердечной сумки, промыли и измельчили.

Мышечные желудки цыплят-бройлеров хорошо промыли. Предварительно была удалена кутикула, провели измельчение.

Технология производства котлет проводилась по единой технологической схеме, при использовании субпродуктов проводили дополнительную операцию – их подготовку. Основу для рубленых полуфабрикатов составляли в соответствии с разработанной схемой (табл. 1).

Остальные ингредиенты: репчатый лук, яйцо куриное и приправы (соль и перец) вносили во все образцы фарша в одинаковом объеме.

Из приготовленной массы формировали котлеты овально-приплюснутой формы с заостренными концами и панировали в сухарях (табл. 3). Масса котлет была примерно 100 г, исходя из требований по массе для готовых котлет из мяса птицы 80 г с учетом потерь при жарке 20 %.

Для установления влияния куриных субпродуктов и соответствия их нормативным документам с целью определения оптимальных сочетаний сырья оценивали органолептические показатели. Для проведения анализа отбирали по 5 котлет каждого вида.

Органолептические показатели рубленых полуфабрикатов (котлет) в сыром виде определяли по запаху, внешнему виду и цвету полуфабрикатов. Оценку проводили визуально, путем наружного осмотра изделий.

Оценка композиционной смеси и внешний вид изделий показали полное соответствие требованиям. Все образцы имели овально-приплюснутую форму, поверхность котлет была посыпана панировкой.

До готовности полученные образцы доводили путем жарки при температуре 150-160 0С в течение 15-18 минут, готовность изделий устанавливали путем измерения температуры в центре котлет (не менее 90 0С).

Внешний вид готовых котлет и на разрезе представлены в таблице 3.

В готовых изделиях определяли визуально путем наружного осмотра - вид фарша на разрезе и внешний вид, вкус и запах путем опробования, надавливанием пальцами и разжевыванием определяли консистенцию. Также определяли степень выраженности вкуса и запаха внесенных субпродуктов, наличие или отсутствие постороннего привкуса, запаха или послевкусия.

При оценке образцов дегустаторы оценивали каждый образец и отмечали при наличии замечания в дегустационный лист. По результатам оценки по каждому образцу и по каждому показателю подсчитывали общую сумму баллов и средние баллы.

Результаты отображены на рисунке 2.

Согласно данных дегустации установлено, что состав мясного фарша оказал влияние на формирование потребительских показателей котлет.

Исследование выявило, что котлеты, приготовленные из куриного филе, имели более светлый оттенок по сравнению с образцами, содержащими куриные субпродукты. Более рыхлая консистенция была отмечена у опытных образцов при использовании в качестве основного сырья куриных мышечных желудков.

Максимальные средние баллы дегустаторы поставили котлетам, с использованием куриного филе, оценив их в 4,9 баллов, такую же оценку получили опытные образцы, в состав которых входили филе цыплят-бройлеров и мышечные желудки в соотношении 1:1.

Котлеты, в состав которых входили куриные сердечки получили наименьшее количество баллов за показатели – запах, сочность и вкус. Рецептура этих образцов нуждается в корректировке как по соотношению основного сырья, так и по внесению специй.

Влияние куриных субпродуктов на пищевую ценность отображена в виде диаграммы на рисунке 3.

Таблица 3 – Внешний вид полуфабрикатов и готовых изделий / Table 3 – Vneshniy vid polufabrikatov i gotovykh izdeliy

№ образца	Вид полуфабриката	Вид готового изделия	Вид изделия на разрезе
1	2	3	4
Контрольный			
Опытные образцы			
Образец №1			
Образец №2			
Образец №3			
Образец №4			
Образец №5			



Рисунок 2 – Органолептическая оценка готовых изделий
Figure 2 – Organoleptic evaluation of finished products

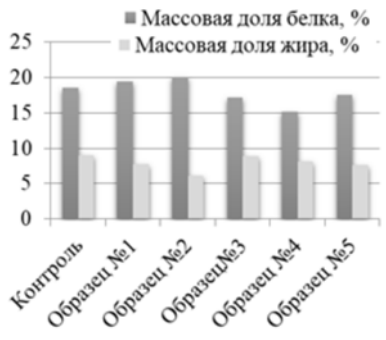


Рисунок 3 – Содержание белка и жира в готовых изделиях
Figure 3 – Protein and fat content in finished products

Таким образом, использование субпродуктов птицы оказало влияние на содержания основных питательных веществ (белок и жир). Наибольшее содержание белка было в котлетах, приготовленных на основе мышечных желудочков 20,1 %, на 0,7 % меньше в котлетах, где часть филе (50 %) заменили на мышечные желудки. Наименьшее количество белка в варианте при полной замене филе цыплят-бройлеров на куриные сердечки.

При этом наименьшее содержание жира было в котлетах на основе мышечных желудков, практически одинаковое содержание жира в образцах, приготовленных на основе куриных субпродуктов (куриные желудки и сердечки), взятые в соотношении 1:1 и с заменой филе на мышечные желудки соответственно 7,6-7,8 %.

Для установления потерь котлет определили начальную массу и после приготовления. Провели расчеты, результаты были обработаны, рассчитаны средние величины (табл. 4).

Таблица 4 - Выход готовой продукции в зависимости от состава фарша
Table 4 – Vykhod gotovoy produktsii v zavisimosti ot sostava farsha

Основное сырьё	масса полуфабриката, г	масса готового продукта, г	Потери, %
контрольный			
Мясо кур	100,0 ± 0,1	88 ±0, 4	12,0
опытные			
Мясо кур + мышечные желудки	100,2 ± 0,2	89 ± 0,3	11,0
Мышечные желудки	100,0 ± 0,1	92 ±0, 2	8,0
Мясо кур + куриные сердечки	100,1 ± 0,2	86 ± 0,1	14,0
Куриные сердечки	100,0 ± 0,1	83,2 ± 0,5	16,8
Мышечные желудки + сердечки	100,2 ± 0,2	86,1 ± 0,7	13,9

Результаты таблицы 4, свидетельствуют о влиянии состава фарша на массу готового продукта и соответственно на потери в процессе их приготовления. Однако необходимо отметить, что потери массы котлет при тепловой обработке не превышают установленную норму, также, как и массу готовых котлет (не ниже 80 г, для котлет из мяса кур).

При этом наибольшая масса была у котлет, приготовленных на основе мышечных желудков, их потери при тепловой обработке составили 8 %, у котлет с заменой 50 % филе цыплят-бройлеров на мышечные желудки потери были больше на 3 % и составили 11 % от первоначальной массы рубленых полуфабрикатов (при норме не более 20).

Масса котлет из филе цыплят-бройлеров составили 88 г, потери при тепловой обработке 12 %. Наибольшие потери оказались у котлет из куриных сердечек 16,8 %.

Таким образом, влагосвязывающая и влагоудерживающая способность оказалась больше у котлет, в состав которых входит филе цыплят-бройлеров и мышечные желудки.

По всем изучаемым показателям котлеты соответствовали требованиям технических регламентов Таможенного союза: ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции».

Необходимо отметить и экономическую составляющую. Замена филе цыплят-бройлеров на куриные субпродукты позволит увеличить уровень рентабельности.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования куриных субпродуктов в рецептурах рубленых полуфабрикатов. Это позволит не только расширить ассортимент пищевых продуктов, повысить пищевую ценность, не снижая потребительские показатели, но и снизить расход мяса цыплят-бройлеров и увеличить уровень рентабельности. При выработке котлет можно проводить замену мясо кур до 50 %, а также полностью вырабатывать из куриных субпродуктов, готовые изделия получаются с высокими потребительскими показателями и повышенной пищевой ценностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фисинин В.И., Егоров, И.А., Дмитриев, В.А. Птицеводство России: состояние и перспективы развития / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, В.А. Дмитриев // Птица и птицепродукты. 2018. С. 10-15.

2. Семенова И.Н. Экологические аспекты утилизации отходов птицеводства / И.Н. Семенова, Л.И. Иванова, Н.В. Петрова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. С.123-128.

3. Жаринов А.И. Инновационные технологии переработки вторичного сырья мясной промышленности / А.И. Жаринов, О.А. Кузнецова, Л.Ф. Митасева // Мясная индустрия. 2021. С.14-17.

4. Вайтанис М. А., Ходырева З. Р. Разработка технологии поликомпонентных мясных рубленых изделий с конопляной мукой // Ползуновский вестник. 2025. № 1, С. 16–23. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.002. EDN: https://elibrary.ru/DHPPBK.

5. 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.

6. 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.

7. Совершенствование технологии производства специализированных продуктов из мяса кролика/ В.Г. Попов, О.С. Федорова, С.А. Белкина // Ползуновский вестник. 2017. № 3. С. 37–42.

8. 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.

9. 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.

10. ГОСТ 9959-2015 «Мясо и мясные продукты»

11. ГОСТ 25011-2017 «Мясо и мясные продукты. Методы определения белка».

12. ГОСТ 23042-2015 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира».

13. ГОСТ 31657-2012 «Субпродукты птицы».

Информация об авторах

В. Н. Гетманец – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства АГАУ.

Information about the authors

V. N. Getmanets - the candidate of agricultural Sci-ences, associate Professor ASAU, Professor of chair of technology of production and processing of livestock products.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 73–78.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 73–78.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.07
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.012 EDN: CDTVZD

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ОБЕЗЖИРЕННОГО СУХОГО МОЛОКА, КОНЦЕНТРАТА СЫВОРОТОЧНОГО БЕЛКА И МИКРОПАРТИКУЛЯТА СЫВОРОТОЧНОГО БЕЛКА НА КАЧЕСТВО МОРОЖЕНОГО

Игорь Алексеевич Гурский

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности — Филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия
iixrug@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-8177-3472

Аннотация. *Цель исследования - изучение влияния на показатели качества молочного мороженого взаимодействие сухого обезжиренного молока (СОМ), концентрата сывороточного белка (КСБ) и микропартикулята сывороточного белка (МСБ). Задачи: изготовить опытные партии исследуемых образцов молочного мороженого с различным соотношением СОМ, КСБ, МСБ и провести комплексное исследование наиболее значимых показателей качества. Объектом исследования являлись образцы молочного мороженого. Совместное использование СОМ, КСБ и МСБ повлияло на взбитость, температуру замерзания, термоустойчивость, размер микроструктурных элементов молочного мороженого. Результаты показали, что при использовании КСБ и МСБ вместо СОМ взбитость снизилась с 92±5 до 63±7%. Температура замерзания выросла с -2,4 до -1,6°С, размеры микроструктурных элементов увеличились с 25 до 44 мкм (пузырьки воздуха) и с 29 до 41 мкм (кристаллы льда), время падения первой капли увеличилось с 25 до 62 мин. Совместное применение СОМ с КСБ и МСБ оказало положительное влияние на дисперсность микроструктурных элементов и характеристики плавления мороженого. Результаты исследований подтвердили, что создание композиций на основе СОМ, КСБ и МСБ позволяет достичь технологически необходимых показателей качества молочного мороженого и одновременно повысить содержание белка в готовом продукте.*

Ключевые слова: *температура замерзания, скорость плавления, пузырьки воздуха, кристаллы льда.*

Благодарности: *статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН*

Для цитирования: Гурский И. А. Совместное влияние обезжиренного сухого молока, концентрата сывороточного белка и микропартикулята сывороточного белка на качество мороженого // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 73–78. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.012. EDN: https://elibrary.ru/CDTVZD.

Original article

COMBINED EFFECT OF NONFAT DRY MILK, WHEY PROTEIN CONCENTRATE AND WHEY PROTEIN MICROPARTICLES ON ICE CREAM QUALITY

Igor A. Gurskiy

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry — Branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia
iixrug@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-8177-3472

Abstract. *The purpose of the study is the research of the interaction effect of nonfat dry milk (NFDM)/ whey protein concentrate (WPC)/ microparticulated of whey protein (MWP) on quality indicators of low- fat milk ice cream. Objectives: to produce pilot batches of the investigated samples of low- fat milk ice cream with different proportion NFDM, WPC, MWP and to conduct a set of studies of the most significant quality indicators. The samples of the low-fat milk ice cream were the object of the study. The joint usage of NFDM, WPC and MWP mixture effected viscosity, overran, freezing point, melting properties, size of microstructural elements of milk ice cream. The results showed that the usage of WPC and MWP instead of NFDM decreased the overrun from 92±5 to 63±7%. The freezing point increased from -2.4 to -1.6 °C, the sizes of microstructural elements increased from 25 to 44 μ (air cells) and from 29 to 41 μ (ice crystals), and the first dripping time increased from 25 to 62 min, respectively. The joint application of NFDM with WPC and MWP affected positively the dispersion of microstructural elements and improved melting characteristics. The research results confirmed that the formulation of compositions based on NFDM, WPC, and MWP makes it possible to achieve the technologically required quality parameters of low- fat ice cream while simultaneously increasing the protein content in the final product.*

© Гурский И. А., 2026

Keywords: *Freezing point, viscosity, melting rate, air cells, ice crystals*
Acknowledgements*: the article was written in the framework of research under the State task of the Federal State Budgetary Scientific Institution "V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems" RAS*

For citation: Gurskiy, I.A. (2026). Combined effect of nonfat dry milk, whey protein concentrate and whey protein microparticles on ice cream quality. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 73-78. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.012. EDN: https: //elibrary.ru/CDTVZD.

ВВЕДЕНИЕ

Мороженое — многофазный молочный составной продукт, содержащий кристаллы льда, воздушные пузырьки, жировые шарики и незамороженную сывороточную фазу (около 10-20%) [1]. Мороженое является одним из самых популярных среди потребителей замороженным десертом, поэтому совершенствование его состава и исследование влияния различных компонентов смеси на его качество является актуальной задачей. В последние годы среди потребителей увеличился спрос на мороженое с высоким содержанием белка, который является необходимым нутриентом для физиологических функций организма. В мороженом чаще всего белок состоит из казеина и сывороточного белка в количестве 1,7-4,7% в зависимости от состава рецептуры [2]. Помимо физиологической функции, белок обладает технологическими свойствами, которые позволяют целенаправленно влиять на показатели качества мороженого.

Основными источниками белка в мороженом являются такие молочные компоненты, как цельное молоко и сухое обезжиренное молоко (СОМ), с которыми в мороженое вносят белка не более 3,7%. Самый распространенный способ увеличения содержания белка в мороженом — применение различных белковые концентратов и изолятов. Количество и источник белка влияют не только на биологическую ценность мороженого, но и на его качество. При нагревании в процессе пастеризации смеси мороженого часть сывороточных белков связывается с к-казеином на поверхности мицелл, что может увеличивать вязкость [3]. Белки молока обладают поверхностной активностью, которая влияет на поверхностное натяжение на границе раздела фаз, что в результате влияет на образование и дальнейшую стабилизацию воздушной фазы во взбитых замороженных продуктах [4]. Кроме того, частично денатурированные белки формируют трехмерную сеть, обладающую влагоудерживающей способностью за счет водородных связей с полярными группами, что в дальнейшем позволяет удерживать незамороженную сывороточную фазу [5]. Особенно это свойство проявляется у сывороточного белка.

Концентраты сывороточных белков (КСБ) используют чаще других компонентов. Это связано с их функциональными свойствами, описанными Patel [6], а также рядом физико-химических свойств. КСБ при совместном использовании с казеиновыми белками увеличивают вязкость смеси [7], уменьшают способность к насыщению воздухом [8], улучшают характеристики плавления, такие как скорость плавления и время падения первой капли [9], а также сенсорные свойства, такие как ощущение холода, общая и кристаллическая текстура [10]. Чаще КСБ дополнительно вводят к СОМ или частично заменяет его в количестве 1-4% [9, 7]. Реже встречаются варианты полной замены СОМ на белковые концентраты [11, 7].

Исследования по применению микропартикулятов сывороточных белков (МСБ) в производстве мороженого не столь распространены. Отличием МСБ от КСБ является повышенная термостабильность [12] и улучшенные эмульгирующие и гелеобразующие свойства [13]. При нейтральном pH, характерном для традиционных видов мороженого, МСБ образуют гель с прочными и эластичными свойствами [14]. Эти свойства могут повысить качество мороженого. Результаты, полученные Hossain и др. о влиянии МСБ на качество молочных продуктов показали улучшение их свойств [15, 16]. В ранее проведенных исследованиях не изучалось совместное применение КСБ и МСБ, влияние МСБ на физические и микроструктурные свойства мороженого, а также его использование с СОМ.

Результаты аналитического обзора показали, что исследований по влиянию МСБ на показатели качества мороженого недостаточно, по их совместному применению с КСБ и СОМ практически нет. Таким образом цель исследования - изучение влияния на показатели качества молочного мороженого взаимодействие СОМ, КСБ и МСБ. Задачи: изготовить опытные партии исследуемых образцов молочного мороженого с различным соотношением СОМ, КСБ, МСБ и провести комплексное исследование наиболее значимых показателей качества.

МЕТОДЫ

Объектами исследования данной работы являются образцы мороженого с различным соотношением СОМ, КСБ (массовая доля белка 80,2%) (Млековита, Польша) и МСБ (массовая доля белков 61,7%, углеводов 25,0%) (Молочная компания ставропольский, Россия).

Для изготовления 1000 г мороженого по рецептуре использовали сахар (150 г), сухие молочные компоненты (100 г) в соотношении, указанном на рисунке 1, комплексную пищевую добавку, включающую эмульгатор и стабилизатор (6,5 г), сливочное масло (60 г) и воду (683,5 г).

Температуру замерзания определяли на криоскопосмометре ОСКР-1 («КИВИ Осмометрия», Россия).

Титруемую кислотность (°Т) определяли титрованием 0,1 н раствором NaOH с индикатором фенолфталеин.

Скорость плавления образцов мороженого определяли, помещая их на стальную сетку с размером ячеек 0,5х0,5 мм при температуре 20°С по Soukoulis и др. [17]. Записывали время падения первой капли тающего мороженого. Массу тающего мороженого фиксировали каждые 10 минут в течение 3 часов для определения скорости таяния, рассчитываемой как изменение массовой доли во времени, в %/мин.

Взбитость рассчитывали по массе одного и того же объема смеси и мороженого по Goff и Hartel [18] по уравнению:

$$\%Взбитость = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100,$$

где М1 и М2 — масса смеси и мороженого соответственно.

Воздушные пузырьки и кристаллы льда измеряли с помощью микроскопа CX41RF (OLYMPUS, Япония). Диаметр воздушных пузырьков определялся автоматически с помощью программы, описанной в работе [19]; размеры кристаллов льда определяли с по-

мощью программы ImageScope M. Подготовку образцов к анализу проводили согласно методике, описанной в работе [20].

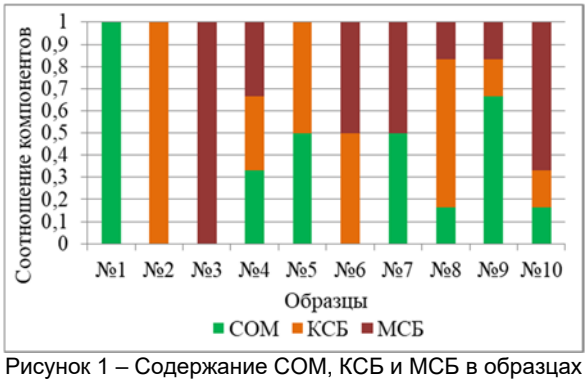


Рисунок 1 – Содержание СОМ, КСБ и МСБ в образцах мороженого

Figure 1 – Proportions of NFDM, WPC and MWP in ice cream samples

Для построения графиков зависимости показателей качества от содержания СОМ, КСБ и МСБ использовали следующее уравнение:

$$y = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_{12} x_1 x_2$$

$$+\alpha_{13} x_1 x_3 + \alpha_{23} x_2 x_3 + \alpha_{123} x_1 x_2 x_3$$

где y — зависимая переменная (температура замерзания, титруемая кислотность, взбитость, скорость плавления, время падения первой капли, диаметр воздушных пузырьков и размер кристаллов льда); α1, α2, α3, α12, α13, α23 и α123 — коэффициенты уравнения в зависимости от содержания СОМ (X1), КСБ (X2) и МСБ (X3). Результаты анализировали с помощью RStudio (RStudio PBC, США). Измерения проводили в 3 повторениях. Результаты были представлены как среднее арифметическое ± стандартное отклонение (SD).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 показаны результаты исследований мороженого. Содержание СОМ, КСБ и МСБ в смесях для мороженого с разным соотношением оказывало существенное влияние (P<0,01) на температуру замерзания и титруемую кислотность. В смесях для мороженого на температуру замерзания установлено значимое влияние отдельных компонентов (КСБ, СОМ и МСБ) (P<0,001) и их композиций (СОМ-КСБ-МСБ) (P<0,05). На показатели титруемой кислотности (таблица 2) оказали значимое влияние КСБ, СОМ и МСБ (P<0,001), а также их композиции из двух компонентов (СОМ-КСБ; СОМ-МСБ; КСБ-МСБ) (P<0,01). На рисунке 2а можно наблюдать, что при замене СОМ более 50% температуре замерзания мороженого выше -2 °C. Самые низкие значения температуры замерзания были определены в образце, содержащем только СОМ. Замена СОМ или МСБ на КСБ повышало титруемую кислотность в образцах мороженого при его содержании более 25% (рис. 2б).

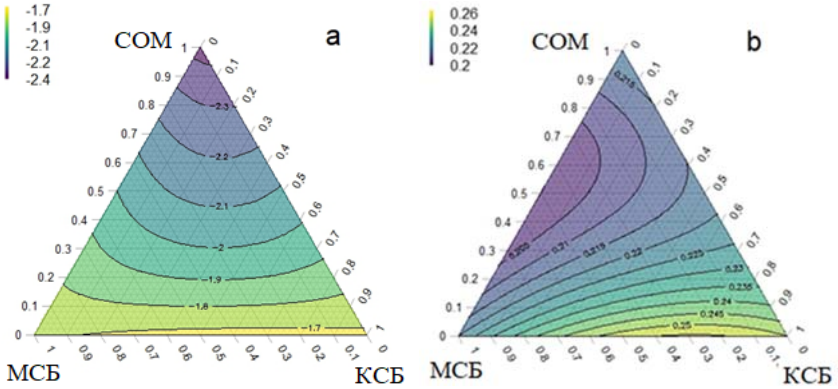


Рисунок 2 – Зависимости (a) температуры замерзания и (b) титруемой кислотности смесей для мороженого с использованием СОМ, КСБ и МСБ

Figure 2 – Dependence of (a) freezing point and (b) titratable acidity in mixtures with NFDM, WPC and MWP

Таблица 1 – Результаты исследований мороженого и смеси с СОМ, КСБ и МСБ.

Table 1 – Results of the study on ice cream and mixtures with NFDM, WPC, and MWP.

Образец	ΔTf (°C)	ТК (°Т)	Взбитость(%)	Падение первой капли (мин)	Скорость таяния (%/мин)	Пузырьки воздуха (мкм)	Кристаллы льда (мкм)
1	-2.44±0.02	22.7±0.6	92±5	25	1.16	25±1	29±1
2	-1.64±0.01	25.3±1.2	67±4	57	0.81	42±1	35±1
3	-1.75±0.01	21.7±0.6	51±2	44	1.03	33±3	41±1
4	-2.01±0.02	23.0±1.0	67±2	48	1.20	29±1	36±2
5	-2.05±0.01	22.3±0.6	67±5	42	1.08	31±1	32±2
6	-1.66±0.01	24.3±1.2	67±4	52	1.13	34±1	36±1
7	-2.03±0.01	21.0±1.0	58±4	50	1.11	30±1	33±1
8	-1.98±0.03	22.3±1.2	57±2	62	1.01	34±3	35±1
9	-2.19±0.01	19.7±0.6	67±2	44	1.12	24±3	34±1
10	-1.77±0.02	21.7±1.2	63±2	54	0.97	27±1	38±1

ΔTf – температура замерзания; ТК – титруемая кислотность

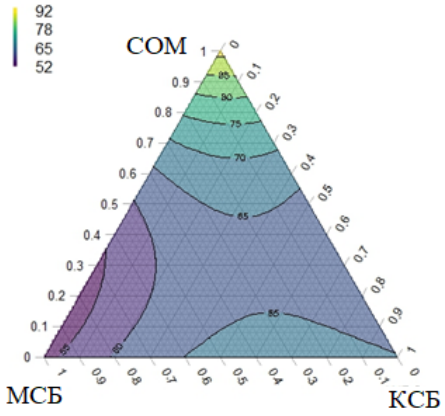


Рисунок 3 – Зависимость взбитости мороженого от содержания СОМ, КСБ и МСБ

Figure 3 – Dependence of overrun in ice cream with NFDM, WPC and MWP

Результаты исследования показали значимое влияние компонентов смесей (КСБ, СОМ и МСБ) (P<0,001), и их композиций (СОМ-КСБ; СОМ-МСБ) (P<0,01) на взбитость. Взбитость при использовании СОМ по сравнению с КСБ и МСБ была выше. При замене СОМ более чем на 20% сывороточными белками взбитость снизилась в 1,8-1,4 раза (рисунок 3), несмотря на то что КСБ характеризуется более высокой пенообразующей способностью, чем белки СОМ.

При исследовании термоустойчивости было установлено значительное влияние (P < 0,01) КСБ, СОМ и МСБ на время падения первой капли. Оно увеличивалось при использовании сывороточного белка, что показано в Таблице 1. На рисунке 4а кривая отклика демонстрирует значительное увеличение исследуемого показателя при использовании КСБ более 50%.

Также КСБ, СОМ и МСБ оказали значительное влияние (P < 0,05) на скорость плавления. Кривая отклика на рисунке 4б продемонстрировала более низкую скорость плавления мороженого при содержании более 75% КСБ.

Средние размеры пузырьков воздуха находились в диапазоне от 24 до 42 мкм, как показано в Таблице 1. СОМ, КСБ и МСБ оказали значительное влияние (P < 0,001) на дисперсность воздушной фазы. На Рисунке 5а кривая отклика показала меньший размер пузырьков воздуха в образцах с СОМ. Самые высокие значения среднего размера были определены при использовании КСБ.

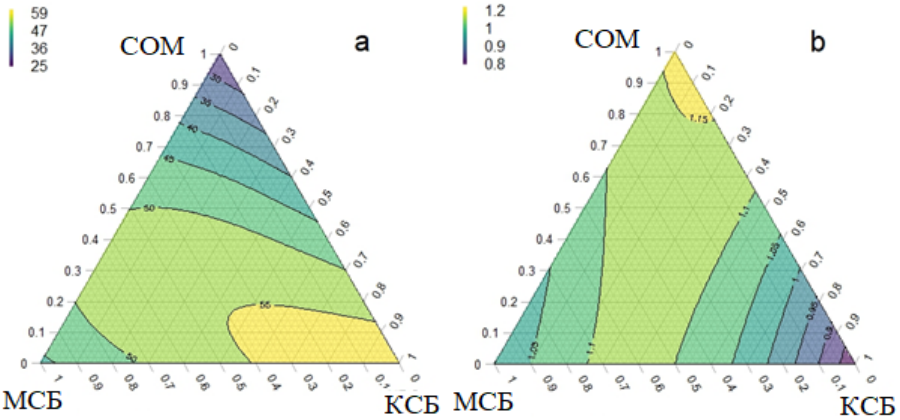


Рисунок 4 – Зависимости (a) времени первого падения и (b) скорости плавления для мороженого с использованием СОМ, КСБ и МСБ

Figure 4 – Dependence of (a) time to first dripping and (b) melting rate in ice cream with NFDM, WPC and MWP

Средние размеры кристаллов льда находились в диапазоне от 29 до 41 мкм (таблица 1). СОМ, КСБ и МСБ оказали значительное влияние (P < 0,001) на этот показатель. Также было установлено значительное влияние совместного применения (КСБ-МСБ) (P < 0,05) и (СОМ-КСБ-МСБ) (P < 0,01) на кристаллы льда. Более высокое значение среднего размера кристаллов льда было определено при использовании МСБ.

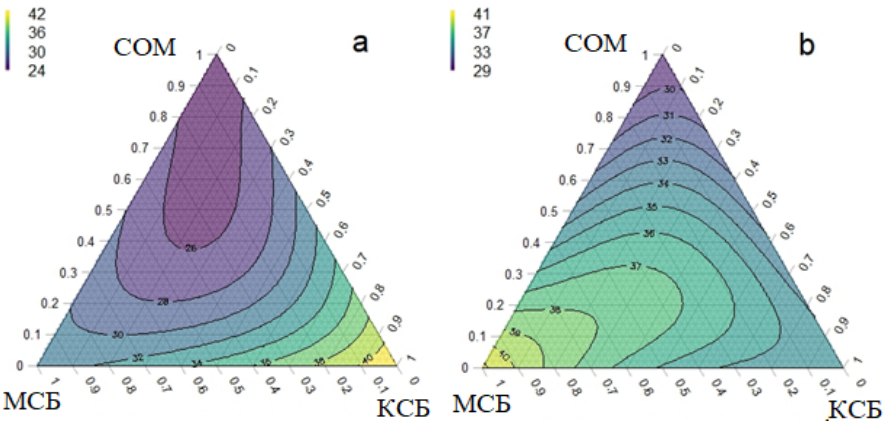


Рисунок 5 – Зависимость средних размеров (a) воздушных ячеек и (b) кристаллов льда в мороженом с СОМ, КСБ и МСБ

Figure 5 – Dependence of average sizes of (a) air cells and (b) ice crystals in ice cream with NFDM, WPC, and MWP

ОБСУЖДЕНИЕ

Увеличение температуры замерзания было вызвано различным количеством лактозы и минеральных веществ в КСБ и МСБ по сравнению с СОМ. Более высокие значения титруемой кислотности при использовании КСБ по сравнению с другими компонентами может быть связано с большим количеством кислых аминокислот, таких как аспарагин и глютамин. Полученные результаты коррелируют с данными более ранних исследований, полученными Твороговой и др. [20.

Понижение взбитости связано со снижением содержание казеина, который по сравнению с сывороточными белками более прочно стабилизирует пену при замораживании смеси. Кроме того, низкая взбитость может быть результатом более длительного времени взбивания из-за более низкой температуры замерзания, что установили Muse и Hartel [21]. Полученные данные свидетельствуют о том, что механизмы стабилизации пены КСБ и МСБ различны, а их комбинация позволяет частично компенсировать недостатки каждого из компонентов.

Низкая скорость плавления, как и время падения первой капли, связаны с количеством белка, которое увеличивается при использовании КСБ и МСБ, а также их влагоудерживающей способностью, что ранее установили Daw и Hartel [11].

Различия размеров пузырьков воздуха между образцами могут свидетельствовать о том, что сывороточный белок обладает меньшей способностью к стабилизации воздушной фазы, чем казеин СОМа. Результаты, полученные Marinova и соавторами в исследовании влияния казеината натрия и концентратов сывороточного белка на стабильность пены, подтверждают это [22]. Различие в среднем размере воздушных ячеек КСБ и МСБ можно объяснить механизмом стабилизации пены. Микрочастицы МСБ размером в несколько микрон могут прикрепляться к поверхности пузырьков воздуха и стабилизировать их, образуя монослой в соответствии с механизмом Пикеринга [23, 24].

Увеличение кристаллов льда при использовании МСБ может быть связано с его составом, повлиявшим на криоскопическую температуру. Образец с более низкой криоскопической температурой будет содержать меньше вымороженной воды. Наличие большего количества жидкой фазы интенсифицирует процессы рекристаллизации, что приводит к дополнительному росту кристаллов льда на этапах закаливания и хранения. Поскольку размер кристаллов льда определяется не только криоскопической температурой, но и кинетикой рекристаллизации в незамёрзшей фазе, выявленное взаимодействие может быть связано с различной адсорбцией белков на поверхности кристаллов, а также изменением реологических свойств жидкой фазы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований осуществлен сравнительный анализ влияния КСБ и МСБ на комплекс технологических показателей мороженого в составе с СОМ. Установлено, что замена СОМ на концентраты и микропартикулят сывороточных белков приводит к заметному повышению температуры замерзания, способности смеси к насыщению воздухом и дисперсности кристаллов льда, а также оказывает положительное влияние на термоустойчивость готового продукта. Выявлены значимые эффекты взаимодействия исследуемых компонентов на показатели качества мороженого, что свидетельствует об их существенном взаимовлиянии и требует комплексного подхода при разработке рецептур. Совместное использование СОМ, КСБ и МСБ позволяет получить продукт со сбалансированными микроструктурными характеристиками и свойствами плавления, что открывает перспективы для создания высокобелкового мороженого с улучшенными технологическими показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландиховская А. В., Творогова А.А. Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные направления исследований // Пищевые системы. 2021. Т.4, № 2. С. 74–81. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81.

2. Dynamic Concerns of Protein Ice-Cream: An Analysis / B. Shafique [et al.] // Acta Scientifci Nutritional Health. 2019. Vol.3, Iss.11. P. 73-78. https://doi.org/10.31080/asnh.2019.03.0490

3. Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate / Roy S. [et al.] // Applied Food Research. 2021. Vol.2, Iss.1. https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029.

4. Whitnah C.H. The Surface Tension of Milk. A Review // Journal of Dairy Science. 1959. Vol. 42, Iss.9. P.1437-1449. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(59)90760-X.

5. Singh H. Functional Properties of Milk Proteins // Reference Module in Food Science. 2016. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00934-3.

6. Patel S. Functional food relevance of whey protein: A review of recent findings and scopes ahead // Journal of Functional Foods. 2015. Vol.19. P. 308-319. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.040.

7. Effect of Incorporating Whey Protein Concentrate on Chemical, Rheological and Textural Properties of Ice Cream / El-Zeini Hoda M. [et al.] // Journal of Food Processing & Technology. 2016. Vol. 7, Iss. 2. http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.1000546.

8. Moschopoulou E., Dernikos D., Zoidou E. Ovine ice cream made with addition of whey protein concentrates of ovine-caprine origin / International Dairy Journal. 2021. Vol.122. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105146.

9. Danesh, E., Goudarzi, M., Jooyandeh, H. Short communication: Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream / Journal of dairy science. 2017. Vol. 100, Iss. 7. P. 5206–5211. https://doi.org/10.3168/jds.2016-12537.

10. Patel M.R., Baer R.J., Acharya M.R. Increasing the protein content of ice cream / Journal of dairy science. 2006. Vol.89, Iss.5. P. 1400-1406. https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302%2806%2972208-1.

11. Daw E., Hartel R.W. Fat destabilization and melt-down of ice creams with increased protein content / International Dairy Journal. 2015. Vol.43, P. 33-41. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.12.001.

12. Dissanayake M., Liyanaarachchi S., Vasiljevic T. Functional properties of whey proteins microparticulated at low pH / Journal of dairy science. 2012. Vol. 95, Iss. 4. P. 1667-1679. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4823.

13. Dissanayake M., Vasiljevic T. Functional properties of whey proteins affected by heat treatment and hydrodynamic high-pressure shearing / Journal of dairy science. 2009. Vol. 92, Iss. 4. P. 1387-1397. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1791.

14. Havea P., Watkinson P.J., Kuhn-Sherlock B. Heat-induced whey protein gels: protein-protein interactions and functional properties / Journal of agricultural and food chemistry. 2009. Vol. 57, Iss. 4. P. 1506-1512. https://doi.org/10.1021/jf802559z.

15.The impact of extruded microparticulated whey proteins in reduced-fat, plain-type stirred yogurt: Characterization of physicochemical and sensory properties / Hossain M.K. [et al.]// Lwt - Food Science and Technology. 2020. Vol. 134. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109976.

16.Microstructure and Physicochemical Properties of Light Ice Cream: Effects of Extruded Microparticulated Whey Proteins and Process Design / Hossain M. K. [et al.] // Foods. 2021. Vol.10, Iss.6. https://doi.org/10.3390/foods10061433

17.Soukoulis C., Chandrinos I., Tzia C. Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with κ-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream / Lwt - Food Science and Technology. 2008. Vol. 41, Iss.10. P. 1816-1827. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.12.009.

18.Goff H. D., Hartel R. W. Ice Cream. Boston: Springer, 2013. 462 p.

19.Королев И. А. Автоматизированное определение дисперсности воздушной фазы в мороженом с применением методов машинного обучения / Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 3. С. 455–464.

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2448.

20.Effect of Protein Concentrates and Isolates on the Rheological, Structural, Thermal and Sensory Properties of Ice Cream / Tvorogova A. A. [et al.] // Current Research in Nutrition and Food Science. 2023. Vol. 11, Iss.1. P. 294-306. http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.1.22.

21.Muse M.R., Hartel R.W. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness / Journal Dairy Science. 2004. Vol. 87, Iss.1. P. 1-10. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73135-5.

22.Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates / Marinova K.G. [et al.] // Food Hydrocolloids. 2009. Vol. 23. P. 1864-1876. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2009.03.003.

23.Foaming properties of heat-aggregated microparticles from whey proteins / Grossmann L. [et al.] // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2019. Vol. 579. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.06.037.

24.Coşkun A.E., Ocak Ö. Foaming behavior of colloidal whey protein isolate micro-particle dispersions / Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2021. Vol. 609. https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2020.125660.

Информация об авторах

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

REFERENCES

1. Landikhovskaya A.V., Tvorogova A.A. (2021) Ice cream and frozen desserts nutrient compositions: current trends of researches. *Food systems*, 4(2), 74–81. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81.

2. Shafique, B., Mahmood, S., Alam, M.Q., & Saeed, W. (2019). Dynamic Concerns of Protein Ice-Cream: An Analysis. *Acta Scientifci Nutritional Health,* 3(11), 73-78. https://doi.org/10.31080/asnh.2019.03.0490.

3. Roy, S., Hussain, S.A., Prasad, W.G., & Khetra, Y. (2021). Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. *Applied Food Research*, 2(1). https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029.

4. Whitnah, C.H. (1959). The Surface Tension of Milk. A Review. *Journal of Dairy Science, 42(9)*, 1437-1449. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(59)90760-X.

5. Singh, H. (2015). Functional Properties of Milk Proteins. *Reference Module in Food Science*, https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00934-3.

6. Patel, S. (2015). Functional food relevance of whey protein: A review of recent findings and scopes ahead. *Journal of Functional Foods, 19*, 308-319. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.040.

7. El-ZeiniHoda, M., MoneirEl-Abd, M., Az, M., & Fh, Y.E. (2016). Effect of Incorporating Whey Protein Concentrate on Chemical, Rheological and Textural Properties of Ice Cream. *Journal of Food Processing and Technology, 7(2)*. http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.1000546.

8. Moschopoulou, E., Dernikos, D., & Zoidou, E. (2021). Ovine ice cream made with addition of whey protein concentrates of ovine-caprine origin. *International Dairy Journal, 122*, 105146. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105146.

9. Danesh, E., Goudarzi, M., & Jooyandeh, H. (2017). Short communication: Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. *Journal of dairy science, 100(7)*, 5206-5211 . https://doi.org/10.3168/jds.2016-12537.

10. Patel, M.R., Baer, R.J., & Acharya, M.R. (2006). Increasing the protein content of ice cream. *Journal of dairy science, 89(5)*, 1400-1406 . https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302%2806%2972208-1.

11. Daw, E.T., & Hartel, R.W. (2015). Fat destabilization and melt-down of ice creams with increased protein content. *International Dairy Journal, 43*, 33-41. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.12.001.

12. Dissanayake, M., Liyanaarachchi, S., & Vasiljevic, T. (2012). Functional properties of whey proteins microparticulated at low pH. *Journal of dairy science, 95 4*, 1667-1679 . https://doi.org/10.3168/jds.2011-4823.

13. Dissanayake, M., & Vasiljevic, T. (2009). Functional properties of whey proteins affected by heat treatment and hydrodynamic high-pressure shearing. *Journal of dairy science, 92(4)*, 1387-1397 . https://doi.org/10.3168/jds.2008-1791.

14. Havea, P., Watkinson, P.J., & Kuhn-Sherlock, B. (2009). Heat-induced whey protein gels: protein-protein interactions and functional properties. *Journal of agricultural and food chemistry, 57(4)*, 1506-1512 . https://doi.org/10.1021/jf802559z.

15. Hossain, M.K., Keidel, J., Hensel, O., & Diakité, M.L. (2020). The impact of extruded microparticulated whey proteins in reduced-fat, plain-type stirred yogurt: Characterization of physicochemical and sensory properties. *Lwt - Food Science and Technology, 134*, 109976. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109976.

16. Hossain, M.K., Petrov, M., Hensel, O., & Diakité, M.L. (2021). Microstructure and Physicochemical Properties of Light Ice Cream: Effects of Extruded Microparticulated Whey Proteins and Process Design. *Foods, 10(6)*. https://doi.org/10.3390/foods10061433.

17. Soukoulis, C., Chandrinos, I., & Tzia, C. (2008). Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with κ-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. *Lwt - Food Science and Technology, 41(10)*, 1816-1827. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.12.009.

18. Goff H. D. & Hartel R. W. (2013) Ice Cream. Boston: Springer.

19. Korolev, I. (2023). Automated Measurement of Air Bubbles Dispersion in Ice Cream Using Machine Learning Methods. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(3), 455–464. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2448.

20. Tvorogova, A.A., Gurskiy, I.A., Shobanova, T.V., & Smykov, I.T. (2023). Effect of Protein Concentrates and Isolates on the Rheological, Structural, Thermal and Sensory Properties of Ice Cream. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 11(1), 294-306. http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.1.22.

21. Muse, M., & Hartel, R.W. (2004). Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. *Journal of dairy science, 87(1)*, 1-10. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73135-5.

22. Marinova, K.G., Basheva, E.S., Nenova, B., Temelska, M.I., Mirarefi, A.Y., Campbell, B.E., & Ivanov, I.T. (2009). Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates. *Food Hydrocolloids, 23*, 1864-1876. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2009.03.003.

23. Grossmann, L., Beicht, M., Reichert, C.L., & Weiss, J. (2019). Foaming properties of heat-aggregated microparticles from whey proteins. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 579. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.06.037.

24. Coşkun, A.E., & Ocak, Ö. (2021). Foaming behavior of colloidal whey protein isolate micro-particle dispersions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 609*, 125660. https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2020.125660.

Information about the authors

I. A. Gurskiy, candidate of technical sciences, junior researcher in laboratory of ice cream technology in VNIKHI - Branch of Gorbatov 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 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 79–84.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 79–84.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.5:633.8
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.013 EDN: BZHGWD

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ

Эльвира Борисовна Битуева [1], Татьяна Петровна Анцупова [2], Лариса Ивановна Гонгорова[3], Елена Петровна Павлова [4]

[1], [2], [3], [4] ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», Улан-Удэ, Россия
[1] bitueva_elv@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1937-4101
[2] antsupova-bot@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-6931-3877
[3] gongorova_li@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1235-7202
[4] helena327@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-5333-4463

Аннотация. *Спектр применения растительных экстрактов в пищевой промышленности достаточно широк и определяется свойствами растений, входящих в их состав. Полученные данные способствуют расширению научных представлений о составе растительных экстрактов, формируют основу для оценки их технологической пригодности и предварительной классификации по ароматическим характеристикам. Также результаты служат фундаментом для дальнейших исследований в области разработки новых натуральных ароматических добавок, соответствующих современным требованиям безопасности и потребительским предпочтениям.*

В данной исследовательской работе проведено количественное определение ароматических альдегидов сирингилового и гваяцилового рядов в водно-спиртовых экстрактах растительного сырья, предназначенных для использования в различных пищевых системах. Целью данного исследования являлось определение содержания ароматических альдегидов в экстрактах трех опытных образцов. Композиция всех трех образцов включала в себя траву чабреца, плоды шиповника, плоды черемухи, чагу и лист смородины. Образец 1 дополнительно содержал в своем составе цветочный мед, а Образец 3 – лист мяты перечной и траву кипрея узколистного.

Результаты показали значительные различия между содержанием альдегидов в образцах: в Образце 3 с добавлением к основному составу мяты перечной и кипрея суммарное содержание альдегидов превышало аналогичные показатели в двух других образцах в 3,4–4,6 раз, что обусловлено исходным химическим составом и соотношением компонентов. В частности, установлено превышение концентрации сиреневого и ванилинового альдегидов именно в этом образце. Наибольшее содержание синапового альдегида зафиксировано в образце с добавлением цветочного меда, а концентрация сиреневого альдегида — в образце, содержащем мяту перечную и кипрей, что связано с особенностями химического состава ингредиентов.

Использование меда в соответствующем образце оказало заметное влияние на вкусовые качества экстракта, сделав его более мягким. Образец №3, с высоким содержанием ванилина, подходит для кондитерских изделий, тогда как Образец №1, богатый синаповым альдегидом, рекомендован для крепких напитков, а Образец №2 — для мясных блюд и соусов. Это подтверждает перспективность использования данных растительных экстрактов в качестве натуральных ароматизаторов, консервантов и функциональных ингредиентов с управляемыми свойствами. Результаты разработки и успешных испытаний экстрактов положены в основу создания бальзамов, на которые получены патенты. Это подтверждает новизну предложенного подхода и перспективность использования данных экстрактов.

Ключевые слова: *экстракты, пищевые системы, растительное сырье, ароматические альдегиды, капиллярный электрофорез, биологически активные вещества, бальзамический аромат.*

Для цитирования: Битуева Э. Б., Анцупова Т. П., Гонгорова Л. И., Павлова Е. П. Исследование свойств растительных экстрактов // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 79–84. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.013. EDN: https://elibrary.ru/BZHGWD.

Original article

RESEARCH OF PROPERTIES OF PLANTS EXTRACTS

Elvira B. Bitueva [1], Tatyana P. Antsupova [2], Larisa I. Gongorova [3], Elena P. Pavlova [4]

[1], [2], [3], [4] East-Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

© Битуева Э. Б., Анцупова Т. П., Гонгорова Л. И., Павлова Е. П., 2026

[1] bitueva_elv@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1937-4101
[2] antsupova-bot@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-6931-3877
[3] gongorova_li@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1235-7202
[4] helena327@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-5333-4463

Abstract. *The range of applications of plant extracts in the food industry is quite broad and is determined by the properties of the plants they contain. The data obtained contribute to expanding scientific understanding of the composition of plant extracts, forming the basis for assessing their technological suitability and preliminary classification based on aromatic characteristics. The results also serve as a foundation for further research into the development of new natural flavor additives that meet modern safety requirements and consumer preferences.*

This research study quantified aromatic aldehydes of the syringyl and guaiacyl series in hydroalcoholic extracts of plant materials intended for use in various food systems. The aim of this study was to determine the aromatic aldehyde content in extracts of three test samples. All three samples contained thyme herb, rose hips, bird cherry fruit, chaga mushroom, and currant leaf. Sample 1 additionally contained flower honey, and Sample 3 contained peppermint leaf and fireweed herb.

The results revealed significant differences in the aldehyde content of the samples: in Sample 3, with peppermint and fireweed added to the base composition, the total aldehyde content exceeded that of the other two samples by 3.4–4.6 times, due to the original chemical composition and component ratio. Specifically, higher concentrations of syringaldehyde and vanillyl aldehyde were found in this sample. The highest content of sinapic aldehyde was recorded in the sample with the addition of flower honey, and the highest concentration of syringaldehyde was found in the sample containing peppermint and fireweed, due to the chemical composition of the ingredients.

The use of honey in the corresponding sample significantly improved the extract's flavor, making it more mellow. Sample 3, with a high vanillin content, is suitable for confectionery, while Sample 1, rich in synapic aldehyde, is recommended for strong drinks, and Sample 2 is suitable for meat dishes and sauces. This confirms the potential of these plant extracts as natural flavorings, preservatives, and functional ingredients with controlled properties. The results of the development and successful testing of the extracts formed the basis for the creation of balms for which patents have been obtained. This confirms the novelty of the proposed approach and the promising potential of these extracts.

Key words: *extracts, food systems, plant materials, aromatic aldehydes, capillary electrophoresis, biologically active substances, balsamic aroma.*

For citation: Bitueva E. B., Antsupova T. P., Gongorova L. I. & Pavlova E. P. (2026). Research of properties of plants extracts. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 79-84. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.013. EDN: https: //elibrary.ru/BZHGWD.

ВВЕДЕНИЕ

Для удовлетворения физиологических потребностей человека необходим достаточно широкий спектр пищевых веществ, это макро- и микронутриенты, а также минорные компоненты пищи, которые сложно контролировать в пищевых продуктах. Пищевые системы – многофакторная совокупность макро-, микронутриентов и минорных компонентов. Все компоненты системы взаимосвязаны химически. В ней сложно выделить однозначно только позитивное или только негативное составляющее, поэтому стоит говорить о предельно допустимых количествах нутриентов и минорных компонентов.

Использование любых технологических приемов при изготовлении пищи приводит к потере нутриентов, особенно это касается минорных компонентов. К ним, в частности, относятся биологически активные вещества. Источниками таковых являются, в первую очередь, растения, зачастую, это пищевые и лекарственные растения. Редко в пищевой промышленности используются растения в нативной форме, чаще всего используются экстракты.

Подбор видов сырья проводили по следующим показателям: 1. Не содержащие токсические вещества; 2. Не являющиеся антагонистами по действию на организм. Все подобранные виды обладают общеукрепляющим действием на организм, т.е. сохраняют физическую и умственную активность человека; 3. Полученные экстракты должны быть прозрачными, т.к. это улучшает их органолептические показатели. С точки зрения аналитической химии, экстракция – это метод выделения и концентрирования веществ, в частности биологически активных. Экстракты могут быть водными, водно-спиртовыми, эфирными, CO_2-экстракты и др. Их получают путем настаивания, кипячения, CO_2 – экстракции и др. [1,2,3,4, 5,6]. Для их приготовления применяются разные виды растительного сырья, причем подбор сырья зачастую происходит произвольно: на основе сведений из литературных источников, устных собирательных данных [7,8,9]. При этом большое значение имеет безопасность экстрактов, приятный вкус и аромат, что достигается, в частности, использованием сырья, содержащего терпеноиды (эфирные масла), ароматические полифенольные соединения, а также их сочетания.

Спектр применения экстрактов в пищевой промышленности достаточно широк и определяется свойствами растений, например: лимонник, женьшень, родиола, зеленый чай, элеутерококк используются в производстве энергетических напитков; лавровый лист, лук, перец, петрушка, тмин, укроп, хрен, чеснок – в производстве соусов, рыбы, колбасных изделий, сухариков; тмин, горчица, кориандр, гвоздика – в консервировании, в мясной кулинарии, производстве напитков; анис, ваниль, мята, тархун, эстрагон, имбирь, бергамот – в производстве кондитерских изделий, при ароматизации ликеров, водок, коньяков и безалкогольных напитков[10].

Целью данного исследования является определение содержания ароматических альдегидов в исследуемых растительных экстрактах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для приготовления экстрактов были взяты 18 видов растений, которые затем подбирались в разных комбинациях и различных количественных соотношениях. Использовали в основном известные полезные растения, не содержащие токсические вещества [11,12,13,14,15, 16,17]. При этом многие растения являются местными, то есть произрастают на терри-

тории Бурятии, а также такие, которые широко культивируются. Все они содержат биологически активные вещества, относящиеся к разным группам органических соединений. Из взятых 18 растений, после проведения предварительных экспериментов, для получения прозрачных растительных экстрактов были отобраны следующие виды сырья: кипрея узколистного трава (Chamaenerionis angustifolii herba); мяты перечной листья (*Menthae piperitae folia)*; смородины черной листья (Ribis nigri folia); чабреца трава (Thymi serpylli herba); чага (Inonotus obliquus); черемухи обыкновенной плоды (Padi avii fructus); шиповника плоды(Rosae fructus). Они содержат терпеноиды, дубильные вещества, эфирные масла, флавоноиды и др. Остальные первоначально взятые 11 видов растений не были использованы в дальнейшем, т.к. не соответствовали указанным выше показателям подбора.

Все выбранные растения соответствовали требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и Единым санитарным требованиям [18,19].

Для определения содержания ароматических альдегидов использовали метод капиллярного электрофореза. Метод основан на электромиграции и различной электрофоретической подвижности ионных форм ванилина, синапового, конiферилового и сиреневого альдегидов. В приведенном исследовании идентификацию и количественное определение ароматических альдегидов в экстрактах трех растительных композиций осуществляли по методике М 04-53-2008 на системе капиллярного электрофореза «Капель-105М» (Россия), в режиме прямого детектирования с использованием в качестве фонового электролита тетраборатного буфера (*результаты исследований получены на оборудовании ЦКП «Прогресс» ФГБОУ ВО ВСГУТУ*).

Ввод пробы осуществляли в условиях, рекомендованных в методике: под давлением 600 мбар·с. Условия проведения анализа: длина волны 373 нм, температура 20 °С, напряжение +25 кВ; продолжительность анализа – 10 минут. Характеристики капилляра: внутренний диаметр 75 мкм, эффективная длина 50 см, общая длина 60 см. Метод расчета: абсолютная градуировка с использованием стандартных образцов ванилина, синапового, конiферилового и сиреневого альдегидов (Aldrich, Fluka). Сбор и обработку экспериментальных данных осуществляли с использованием персонального компьютера, на котором установлено программное обеспечение «Эльфоран» (ГК «Люмэкс»).

РЕЗУЛЬТАТЫИ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате предварительных исследований [17] были отобраны три композиции растений для экстракции, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Состав растительных композиций

Table 1 - Components of herbal compositions

№	Образец 1	Образец 2	Образец 3
1	Чабреца трава 5,0 г	Чабреца трава 5,0 г	Чабреца трава 5,0 г
2	Шиповника плоды 5,0 г	Шиповника плоды 5,0 г	Шиповника плоды 5,0 г
3	Черемухи плоды 5,0 г	Черемухи плоды 5,0 г	Черемухи плоды 3,0 г
4	Чага1,0 г	Чага 2,0 г	Чага 0,5 г
5	Смородины лист 5,0 г	Смородины лист 3,0 г	Смородины лист 3,0 г
6	Мед цветочный (натуральный) 12,5 г	-	Мяты перечной лист 3,0 г
7	-	-	Кипрея узколистного трава 5,0 г

В качестве экстрагента использовали водно-спиртовой 40 % раствор, гидромодуль 1:10. В образец № 1 добавляли 12,5 г меда на 250 мл водно-спиртового раствора для вкуса.

Экстракты выдерживались в темном месте при комнатной температуре (20-25°С) в течение 21 суток (длительность хранения без изменения органолептических показателей) при периодическом перемешивании. Процесс экстракции можно характеризовать как двухфазную, обратимую химическую реакцию, которая может быть описана законом действия масс, а также законом распределения, то есть при константе температуры и давлении отношение равновесных концентраций вещества в двух несмешивающихся фазах является постоянной величиной, которая не зависит от общей концентрации вещества. Одним из важных факторов, влияющих на процесс экстракции, является время контакта фаз. Учитывая многокомпонентность экстрактов, равновесие в системе достигается не сразу. Скорость экстракции зависит от скорости химической реакции, протекающей в системе «твердое тело - раствор», в частности от массопереноса вещества между фазами. Поэтому для ускорения процесса экстракции использовали периодическое перемешивание фаз. Продолжительность экстракции составила 21 сутки. Затем исследуемые образцы процеживали, фильтровали. Выход экстракта составлял около 70 %.

Все полученные экстракты представляли собой темно-коричневую прозрачную жидкость без осадка и посторонних включений, обладали оригинальным бальзамическим ароматом.

Содержание компонентов в экстракте зависит от используемого экстрагента. Известно, что при водно-спиртовой экстракции в раствор переходят эфирные масла, флавоноиды, дубильные вещества, витамины, органические кислоты и др.

Полученные экстракты исследовали на содержание ароматических альдегидов [20,21].

Оценивали содержание ароматических альдегидов гваяцилового ряда с одной метоксигруппой в бензольном кольце (конiфериловый альдегид, ванилин) и сирингилового ряда с двумя метоксигруппами (синаповый и сиреневый альдегиды).

Результаты исследований представлены на рисунках 1-3.

Цифровые значения содержания ароматических альдегидов в исследуемых образцах представлены в таблице 2.

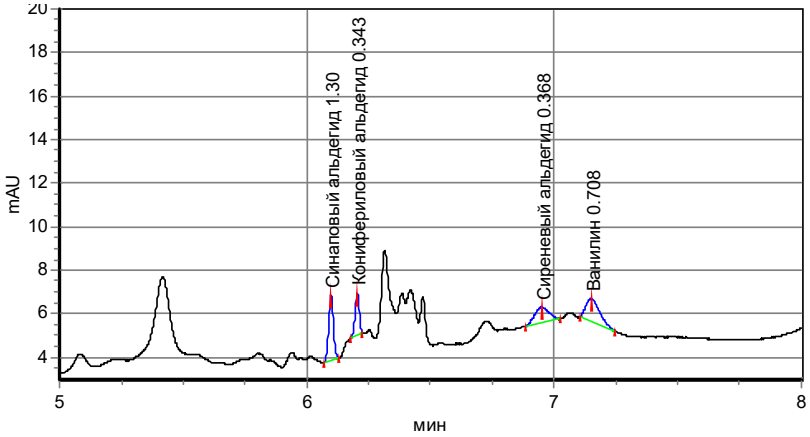


Рисунок 1 – Электрофореграммаобразца 1

Figure 1 –Electropherogram of sample 1

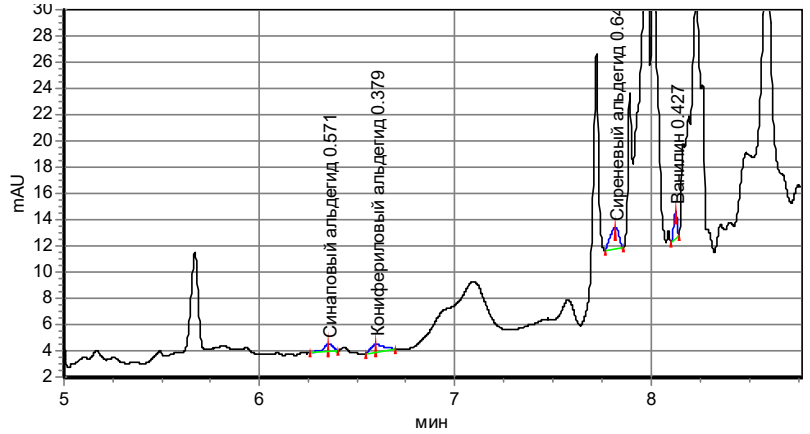


Рисунок 2 -Электрофореграммаобразца2

Figure 2 – Electropherogram of sample 2

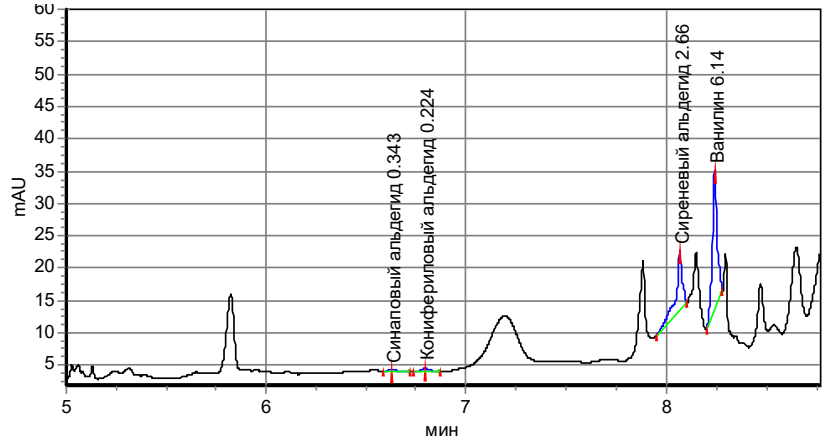


Рисунок 3 – Электрофореграмма образца 3

Figure 3 – Electropherogramof sample 3

Таблица 2 – Содержание ароматических альдегидов в исследуемых экстрактах, мг/дм^3

Table 2 –Concentration of aromatic aldehydes in the studied extracts

Наименование	Литературные данные по коньячным дистиллятам [21]	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Синаповый альдегид	0,1-4,6	1,30	0,571	0,343
Сиреневый альдегид	0,4-38,9	0,368	0,646	2,66
Конифериловый альдегид	0,1-7,4	0,343	0,379	0,224
Ванилин	0,2-18,6	0,708	0,427	6,14
Сумма:	-	2,719	2,023	9,367

Сумма альдегидов в образце 3 превышает в 3,4 и 4,6 раз значения таковых в образцах 1 и 2, соответственно. Результаты исследований по всем трем образцам входят в интервал литературных данных. Содержания альдегидов сирингилового ряда в опытных образцах 1 и 2 немного выше, чем содержание таковых гваяцилового ряда. В случае образца 3 отмечаем, что сумма альдегидов гваяцилового ряда в 2 раза превышает содержание альдегидов сирингилового ряда. Сравнивая индивидуальные значения по ароматическим альдегидам, можно отметить, что наибольшее содержание синапового альдегида наблюдается в образце 1. Количество кониферилового альдегида в образцах 1 и 2 незначительно превышает значения таковых в образце 3. Содержание сиреневого альдегида в образце 3 превосходит практически в 4 раза данные образца 2 и в 7 раз значения такового в образце 1. Количественное содержание ванилина в образце 3 также на порядок больше его присутствия в образцах 1 и 2.

Различия в содержании ароматических альдегидов, скорее всего можно объяснить химическим составом каждого ингредиента образцов, а также их соотношением в экстрактах.

Содержание меда в образце 1 больше повлияло на вкус экстракта, он был мягче, чем два других.

Особое значение имеет влияние состава и соотношения ингредиентов на химический профиль экстрактов, что позволяет целенаправленно управлять ароматическими характеристиками и потенциальными функциональными свойствами получаемых продуктов. Эти результаты подтверждают возможность использования подобных растительных экстрактов для обогащения пищевых продуктов природными ароматическими веществами и создают предпосылки для дальнейших исследований по их применению в пищевой индустрии.

Для приготовления кондитерских изделий можно рекомендовать Образец №3. Образец 3 имеет самое высокое содержание ванилина (6,14 мг/дм³), что значительно превышает показатели Образца 1 (0,708) и Образца 2 (0,427), сумма альдегидов в Образце 3 (9,367) также самая высокая из представленных образцов, что означает более выраженный и комплексный аромат, желательный для кондитерских изделий. Содержание остальных альдегидов (синапового, сиреневого и кониферилового) в Образце 3 также находится в пределах литературных данных для качественных дистиллятов, что обеспечивает богатый и сбалансированный вкусовой профиль, который хорошо сочетается с ванилином. Если Образец 3 идеален для сладостей благодаря высокому содержанию ванилина, то первые два образца имеют свою специфику. Образец 1 характеризуется самым высоким содержанием синапового альдегида (1,30 мг/дм³) среди всех представленных, поэтому рекомендуется его использовать в производстве бальзамов и крепких напитков «коньячного типа», т.к. синаповый альдегид придает напиткам характерную «древесную» глубину и сложность аромата, свойственную благородному алкоголю.

Образец 2 имеет наиболее сбалансированное, но низкое содержание всех компонентов, с небольшим акцентом на сиреневый альдегид (0,646 мг/дм³). Его можно использовать в соусах (например, для мяса или барбекю), в мясной кулинарии. Низкий уровень ванилина (всего 0,427) не дает «десертного» привкуса, который был бы лишним в несладких продуктах. При этом сиреневый альдегид придает легкие пряные и дымные нотки, которые отлично подчеркивают вкус копченостей или ферментированных соусов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что разработанные водно-спиртовые экстракты на основе композиций растительного сырья (чабреца, шиповника, черемухи, чаги, листа смородины) с добавлением меда, мяты перечной и кипрея узколистного обладают высоким содержанием ароматических альдегидов гваяцилового и сирингилового рядов. Методом капиллярного электрофореза показано, что суммарное содержание альдегидов варьирует в зависимости от состава и соотношения компонентов, достигая максимальных значений в образце с добавлением мяты перечной и кипрея (9,367 мг/дм³), что в 3,4 – 4,6 раз превышает показатели других образцов.

Выявленные различия в количественном составе ароматических альдегидов позволяют дифференцированно рекомендовать полученные экстракты для использования в различных пищевых системах: образец с высоким содержанием ванилина – для кондитерских изделий, образец, богатый синаповым альдегидом - для крепких напитков бальзамного типа, а образец со сбалансированным профилем – для мясных блюд и соусов.

Полученные результаты подтверждают перспективность использования данных растительных экстрактов в качестве натуральных ароматизаторов и функциональных ингредиентов с управляемыми свойствами.

Новизна технических решений подтверждена полученными патентами [22, 23] на бальзамы, разработанные на основе исследованных экстрактов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постраш И.Ю., Соболева Ю.Г., Андрущенко В.С. Экстракция биологически активных веществ из цветков ромашки аптечной // Вестник АПК Верхневолжья, 2020, №1 (49). – 21-26.

2. Сидорова Ю.С., Петров Н.А., Зорин С.Н., Мазо В.К.Инновационные методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья //Вопросы питания, 2023. Том 92, № 6. – 28-37.

3. Коничев А.С., Баурин П.В., Федоровский Н.Н., Марахова А.И., Якубович Л.М., Черникова М.А. Традиционные и современные методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья: перспективы, достоинства, недостатки. // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 3. С. 49–54.

4. Асланова Г.И. Способы извлечения биологически активных веществ из растительного сырья // Аллея науки. 2017. Т. 4, № 10. С. 220–223.

5. Иванова С.А., Милентьева И.С., Асякина Л.К. и др. Использование биологически активныхвеществ лекарственных растений Сибири в функциональных напитках на основе молочной сыворотки// Техника и технология пищевых производств. – 2019. – № 49 (1). – С. 14–22.

6. Леонова М.В., Климочкин Ю.Н. Экстракционные методы изготовления лекарственных средств из растительного сырья: учеб.-метод. пособие. – Самара: Изд-во Самарского гос. технич. ун-та, 2012. – 118 с.

7. Смирнов С.О., Фазуллина О.Ф.Разработка рецептуры и технологии получения биологическиактивной добавки к пище с использованием природных компонен-

тов // Техника и технология пищевыхпроизводств. – 2018. – Т. 48, № 3. – С. 105–114.

8. Благонравова М.В. Разработка технологии получения водно-спиртовых экстрактов из растительного сырья Камчатского края // Вестник КамчатГТУ. – 2019. – № 50. –С. 22–30.

9. Тельтевская О.П. Разработка технологии и товарной характеристики крепких алкогольных напитков с использованием различных органов растений семейства аралиевых (Araliaceae): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 18.05.15. – Владивосток, 2013. – 20 с.

10. Оботурова Н.П., Судакова Н.В., Кокоева В.С., Зайцев А.С. Применение экстрактов растительного сырья при производстве пищевой продуктов // М.: Пищевая промышленность, 2013, № 6. С. 48-49.

11. Государственная фармакопея Российской Федерации. – М., 2018. Вып. XIV, Т. 4.

12. Фармакогнозия. Лекарственное сырье растительного и животного происхождения / под ред. Г.П. Яковлева. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: СпецЛит, 2010. – 860 с.

13. Государственный реестр лекарственных средств Российской Федерации. – М., 2015.

14. Дикорастущие полезные растения России / Отв.ред. А.Л. Буданцев, Е.Е. Лестовская. // СПб: Изд. СПХФА. – 2001.- 663 с.

15. Определитель растений Бурятии / Под ред. О.А. Аненхонова. Улан-Удэ, 2001. – 672 с.

16. Сынгеева Э.В., Ламажапова Г.П., Ламаханова Б.Ж., Шенаршеева А.А. Определение биологически активных веществ в водно-спиртовых экстрактах их листьев облепиха и смородины / Вестник ВСГУТУ. №3(90), 2023.- С.44-52

17. Битуева Э.Б., Анцупова Т.П., Балданова Д.М., Павлова Е.П., Данилов М.Б. Технология пищевых бальзамов на основе байкальских трав/ Вестник ВСГУТУ. №3(90), 2023.- С.5-11

18. ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

19. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)// Решение Комиссии таможенного союза № 299 от 28.05.2010 (с изменениями на 14 ноября 2023 года).

20. Егорова Е.Ю., Сысоева Д.Ю., Рожнов Е.Д., Мороженко Ю.В. Ароматические альдегиды экстрактов растительного сырья, используемого в производстве ликероводочных изделий /Ползуновский вестник. № 4. Т 2, 2014. – С.126-131

21. Оселедцева И.В., Гугучкина Т.И. Сравнительная оценка состава фенольных альдегидов и кислот в отечественных и импортных коньячных дистиллятах / Известия вузов. Пищевая технология, № 4, 2012. – 109-111

22. Бальзам / Патент RU№2798970, C12G 3/06, опубл. бюл. № 19, 29.06.2023.

23. Бальзам / Патент RU№ 2839166, C12G 3/06, опубл. бюл. № 13, 28.04.2025.

Информация об авторах

Э. Б. Битуева – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химия» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

Т. П. Анцупова – доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник Управления научными исследованиями Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

Л. И. Гонгорова – кандидат химических наук, старший научный сотрудник ЦКП «Прогресс» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

Е. П. Павлова – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры «Химия» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

Information about the authors

E. B. Bitueva – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Chemistry, East Siberian State University of Technology and Management.

T. P. Antsupova – Doctor of Biological Sciences, Professor, Senior Researcher of the Scientific Research Directorate of the East Siberian State University of Technology and Management.

L. I. Gongorova – Candidate of Chemical Sciences, senior researcher at the Progress Center for Common Use, East Siberian State University of Technology and Management.

E. P. Pavlova – Candidate of Biological Sciences, senior lecturer at the Department of Chemistry, East Siberian State University of Technology and Management.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 85–91.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 85–91.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 573.6.086
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.014 EDN: UVHXDU

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНОПЛЯНОЙ МУКИ НА КАЧЕСТВО РЖАНОГО ХЛЕБА НА ЗАКВАСКЕ

Дарья Евгеньевна Колпакова [1], Юлия Ренатовна Серазетдинова [2], Иван Игоревич Плешивцев [3], Татьяна Владиславовна Тамарзина [4], Людмила Константиновна Асякина [5]

[1, 2, 3, 4, 5] ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия
[1] kolpakova1205@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8508-3372
[2] serazetdinova2000@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3044-3529
[3] ivanpleshivsev@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-4085-4045
[4] tamarazina@mail.ru
[5] alk_kem@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4988-8197

Аннотация. *В связи с растущим интересом потребителей к здоровому питанию и поиску новых нетрадиционных ингредиентов, разработка хлеба, обогащенного биологически ценными веществами, является актуальной задачей современной пищевой промышленности. Конопляная мука, являющаяся источником полноценного белка, клетчатки, полиненасыщенных жирных кислот, витаминов и минералов, представляет собой перспективную добавку для функционального хлебопечения. Однако введение нетрадиционных ингредиентов способно оказывать негативное влияние на технологические и реологические свойства теста, а также на качество готового продукта. В данной работе изучено влияние конопляной муки на качество ржаного хлеба, приготовленного на закваске. Разработана рецептура ржаного хлеба с использованием конопляной муки в различных концентрациях (0 % (контроль), 5 %, 10 %, 15 % и 20 % от массы муки). Для оценки влияния добавки проведен анализ реологических свойств теста, включая определение предельного напряжения сдвига, вязкости и релаксации. Качество готового хлеба оценено по органолептическим показателям (вкус, аромат, цвет, консистенция мякиша и внешний вид) и физико-химическим характеристикам (влажность, пористость, кислотность). Установлено, что добавление конопляной муки в количестве до 15 % не оказывает значительного негативного влияния на сенсорные и физико-химические свойства хлеба, позволяя обогатить его ценными нутриентами. Повышение концентрации конопляной муки до 20 % приводит к снижению реологических свойств теста, уменьшению объема и ухудшению сенсорных характеристик готового продукта, таких как вкус, аромат и текстура. Полученные результаты позволяют оптимизировать рецептуру ржаного хлеба с добавлением конопляной муки для достижения оптимального баланса между пищевой ценностью и потребительскими свойствами.*

Ключевые слова: *здоровое питание, нетрадиционное сырье, рецептура, реологические свойства, органолептические показатели, физико-химические показатели, технология хлебопечения, пищевая ценность, биологическая ценность.*

Благодарности: *Исследование проводилось на базе ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» с использованием ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» в рамках государственного задания FZSR-2024-0009.*

Для цитирования: Оценка влияния конопляной муки на качество ржаного хлеба на закваске / Колпакова Д. Е. [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 85–91. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.014. EDN: https://elibrary.ru/UVHXDU.

Original article

EVALUATION OF EFFECT OF HEMP FLOUR ON QUALITY OF SOURDOUGH RYE BREAD

Daria E. Kolpakova [1], Yulia R. Serazetdinova [2], Ivan I. Pleshivtsev [3], Tatiana V. Tamarzina [4], Lyudmila K. Asyakina [5]

[1, 2, 3, 4, 5] FSBSI HE «Kemerovo State University», Kemerovo, Russia
[1] kolpakova1205@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8508-3372
[2] serazetdinova2000@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3044-3529
[3] ivanpleshivsev@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-4085-4045
[4] tamarazina@mail.ru
[5] alk_kem@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4988-8197

© Колпакова Д. Е., Серазетдинова Ю. Р., Плешивцев И. И., Тамарзина Т. В., Асякина Л. К., 2026

Д. Е. КОЛПАКОВА, Ю. Р. СЕРАЗЕТДИНОВА, И. И. ПЛЕШИВЦЕВ,
Т. В. ТАМАРЗИНА, Л. К. АСЯКИНА

Abstract. *Due to the growing interest of consumers in healthy eating and the search for new non-traditional ingredients, the development of bread enriched with biologically valuable substances is an urgent task of the modern food industry. Hemp flour, which is a source of complete protein, fiber, polyunsaturated fatty acids, vitamins and minerals, is a promising additive for functional bread baking. However, the introduction of non-traditional ingredients can have a negative effect on the technological and rheological properties of the dough, as well as on the quality of the finished product. In this paper, we study the effect of adding hemp flour on the quality of rye bread made with sourdough. A recipe for rye bread has been developed using hemp flour in various concentrations (0 % (control), 5 %, 10 %, 15 %, and 20 % of the flour weight). To assess the effect of the additive, an analysis of the rheological properties of the dough was carried out, including determining the ultimate shear stress, viscosity and relaxation. The quality of the finished bread was assessed based on organoleptic indicators (taste, aroma, color, crumb consistency and appearance) and physicochemical characteristics (moisture, porosity, acidity). It was found that adding hemp flour in an amount of up to 15 % does not have a significant negative effect on the sensory and physicochemical properties of bread, allowing it to be enriched with valuable nutrients. Increasing the concentration of hemp flour to 20 % leads to a decrease in the rheological properties of the dough, a decrease in volume and deterioration of the sensory characteristics of the finished product, such as taste, aroma and texture. The results obtained allow us to optimize the recipe for rye bread with the addition of hemp flour to achieve an optimal balance between nutritional value and consumer properties.*

Keywords: *healthy nutrition, non-traditional raw materials, recipe, rheological properties, organoleptic indicators, physicochemical indicators, baking technology, nutritional value, biological value*.

Acknowledgements*: The study was conducted at the Kemerovo State University using the Center for Collective Use «Instrumental Methods of Analysis in the Field of Applied Biotechnology» within the framework of the state assignment FZSR-2024-0009.*

For citation: Kolpakova D. E., Serazetdinova Yu. R., Pleshivtsev I. I., Tamarzina T. V. & Asyakina L. K. (2026). Evaluation of effect of hemp flour on quality of sourdough rye bread. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 85-91. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.014. EDN: https: //elibrary.ru/UVHXDU.

ВВЕДЕНИЕ

Хлеб, являясь базовым компонентом пищевого рациона человека, представляет собой значимый источник нутриентов, необходимых для поддержания жизнедеятельности организма. Современные потребительские предпочтения смещаются в сторону продуктов, обладающих не только вкусовым разнообразием, но и улучшенным нутриентным составом, а также функциональными свойствами, благотворно влияющими на здоровье [1]. В этой связи наблюдается тенденция к обогащению хлебобулочных изделий нетрадиционными ингредиентами, такими как псевдозерновые, бобовые, масличные культуры и др. Среди перспективных выделяются семена конопли (*Cannabis sativa* L.), богатые ценными питательными веществами. Традиционно используемые в Азии, Индии и Восточной Европе, семена конопли вновь обрели популярность в Канаде и странах Европы как ценный источник пищевых волокон и белка [2].

Семена конопли характеризуются высоким содержанием белка (20–25 %), биологическая ценность которого сопоставима с белком куриного яйца [3], и содержат полный спектр незаменимых аминокислот. Значительная концентрация аргинина, предшественника оксида азота (NO), способствует вазодилатации и снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний. Липидный профиль семян конопли представлен преимущественно полиненасыщенными жирными кислотами [4]. Конопляная мука богата полифенолами, обладающими антиоксидантными, противовоспалительными, антимикробными и противоопухолевыми свойствами [5]. Кроме того, семена конопли являются источником витамина Е и ряда минеральных веществ, включая фосфор, калий, магний, кальций, натрий, железо, серу и цинк [6].

Оптимизация процессов ферментации играет ключевую роль в раскрытии потенциала новых растительных ингредиентов, позволяя решить ряд нутрициологических, технологических и органолептических задач [7]. Ферментация на основе заквасок, содержащих специально подобранные штаммы молочнокислых бактерий, успешно применяется для обработки конопляной муки, способствуя ее интеграции в рецептуры пшеничного хлеба и макаронных изделий, а также улучшая биодоступность белка и антиоксидантные свойства [8].

Реологические свойства теста, такие как предельное напряжение сдвига, вязкость и релаксация, критически важны для качества хлеба. Предельное напряжение сдвига отражает прочность структуры и способность удерживать газ при брожении, влияя на объем и пористость мякиша. Вязкость определяет текучесть теста и равномерность распределения ингредиентов, влияя на форму и однородность мякиша. Релаксация важна для адаптации к изменяющимся условиям в процессе производства и влияет на эластичность мякиша и образование трещин на корке. Контроль этих параметров позволяет оптимизировать технологический процесс и получать хлеб с заданными характеристиками [9].

Включение конопляной муки в рецептуру хлебных изделий оказывает влияние на реологические свойства теста, а также на физико-химические и органолептические показатели готового продукта. Учитывая воздействие компонентов конопляной муки на структуру теста, необходимо провести исследование для определения оптимального количества конопляной муки, позволяющего достичь наибольшего содержания биологически активных веществ в готовом изделии и избежать негативного влияния на его качество. Это обусловлено тем, что избыточное количество конопляной муки способно привести к снижению упругости, что в свою очередь, отрицательно скажется на формоустойчивости и объеме хлеба. Таким образом, определение оптимального баланса между обогащением продукта ценными нутриентами конопляной муки и сохранением реологических характеристик является критически важным для разработки технологически обоснованной рецептуры.

Целью данной работы является исследование влияния добавления конопляной муки на качество ржаного хлеба, приготовленного на закваске, и оптимизация его рецептуры для достижения баланса между пищевой ценностью и потребительскими свойствами. Это включает в себя оценку реологических свойств теста, а также органолептических и физико-химических показателей готового хлеба с различным содержанием конопляной муки.

МЕТОДЫ

Объектами исследования являлся ржаной хлеб на закваске с добавлением конопляной муки в рецептуру в количестве 5, 10, 15 и 20 % от общей массы. В качестве контрольного образца выступал ржаной хлеб на закваске без добавления конопляной муки.

Образцы хлеба изготавливались на основе ржаной закваски, полученной путем спонтанного брожения смеси обдирной ржаной муки и воды (соотношение 2:3) при комнатной температуре в течение 23–25 часов. Далее закваска подвергалась многократным обновлениям (закваска предыдущего этапа:мука:вода – 1:2:3) каждые 4–12 часов до увеличением объема закваски в 2-3 раза в течение 4-6 часов на протяжении 2-3 последовательных циклов обновления, формирования характерного органолептического профиля и достижения кислотности 10–12 град.

Опара готовилась путем смешивания закваски (5 частей), воды (3 части) и обдирной ржаной муки (2 части) с последующей ферментацией в течение 4–6 часов.

Тесто для экспериментальных образцов замешивалось из опары (5,3 части), водного раствора соли (вода 1,4 части, соль 0,15 части), обдирной ржаной муки (3,5 части), и конопляной муки. Замес осуществлялся в течение 7 минут. Последующая расстойка теста проводилась в течение 1–3 часов до увеличения объема вдвое. Выпечка осуществлялась в три этапа: 15 минут при 250 °С, 15 минут при 200 °С и 40 минут при 150 °С. Охлаждение готовых изделий проводилось в течение 3–4 часов. Базовая рецептура хлеба на закваске адаптирована из работы Н. Корнышовой [10].

Оценка органолептических показателей качества хлеба проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 31807-2018 «Изделия хлебобулочные из ржаной хлебопекарной и смеси ржаной и пшеничной хлебопекарной муки. Общие технические условия». Сенсорный анализ включал оценку таких параметров, как внешний вид (форма, состояние поверхности, характер корки), цвет, запах (аромат), вкус и консистенция мякиша. Каждый показатель оценивался по пятибалльной шкале, где: 5 баллов – отлично; 4 балла – хорошо; 3 балла – удовлетворительно; 2 балла – неудовлетворительно; 1 балл – плохо. При оценки соблюдались требования, представленные в ГОСТ 5667-2022 «Изделия хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий» [11].

Оценка физико-химических характеристик хлеба, приготовленного на закваске с использованием нетрадиционного сырья, проводилась с применением стандартизированных методик. Пористость хлеба определялась согласно ГОСТ 5669-96 «Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости» [12]. Уровень кислотности измерялся в соответствии с ГОСТ 5670-96 «Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности» [13]. Содержание влаги в образцах анализировалось по ГОСТ 21094-2022 «Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определения влажности» [14].

Исследование реологических показателей проводилось с использованием структурометра СТ-2.

Параметры проведения эксперимента: Методика - пенетрации с фиксацией пикового усилия; индентер - конус с углом 30 °; скорость внедрения – 0,5–1,7 мм/с (задаётся программой); скорость нагружения – 5–12 г/с (при работе в режиме контроля нагрузки); усилие касания (триггер) – 5–10 г (начало регистрации данных); глубина погружения - до достижения предельного усилия; диапазон измеряемых нагрузок – −5000…+5000 г, погрешность ≤1 %; измеряемая величина - Пиковое усилие нагружения (г), пересчитанное в предельное напряжение сдвига $\tau_0 = F_{max} / S$, Па, где S – площадь контакта индентера с образцом; температура образца – 20±2 °С; состояние теста – после помещения теста в измерительную ячейку выдерживали 10 мин для релаксации напряжений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 приведены условные обозначения, используемые для идентификации исследуемых образцов хлеба. На рисунке 1 представлены подробные рецептуры каждого образца, с указанием процентного содержания всех ингредиентов, входящих в состав. Сопоставление данных таблицы 1 и рисунка 1 позволяет установить соответствие между условным обозначением образца и его рецептурой. Это обеспечивает наглядность и упрощает интерпретацию результатов, представленных в тексте статьи.

Таблица 1 – Условные обозначения опытных и контрольного образцов хлеба
Table 1 – Symbols for experimental and control samples of bread

Условное обозначение	Описание образца
РК5	Ржаной хлеб на закваске с добавлением 5 % конопляной муки
РК10	Ржаной хлеб на закваске с добавлением 10 % конопляной муки
РК15	Ржаной хлеб на закваске с добавлением 15 % конопляной муки
РК20	Ржаной хлеб на закваске с добавлением 20 % конопляной муки
КО	Ржаной хлеб на закваске без добавления конопляной муки

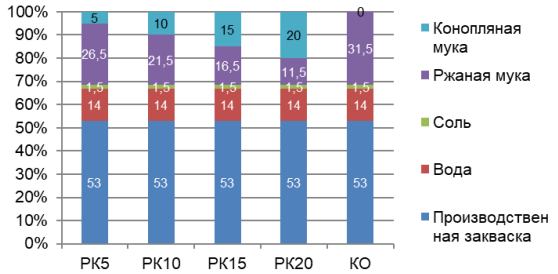
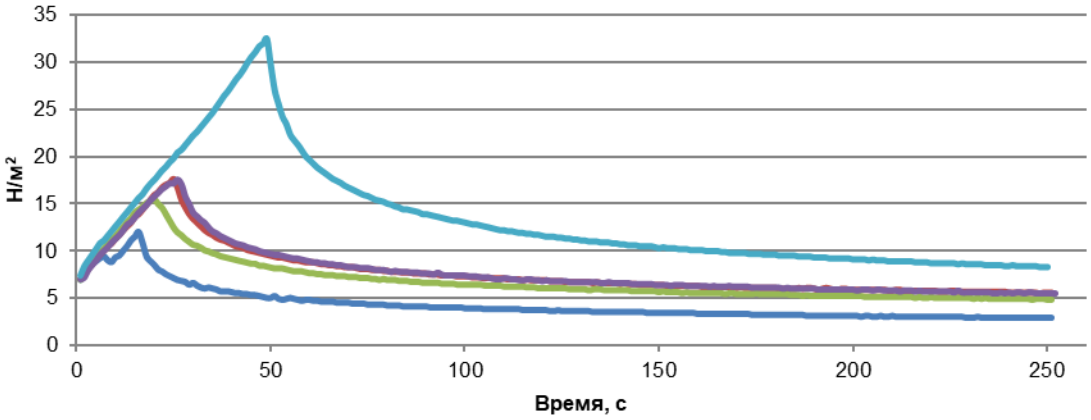


Рисунок 1 – Рецептуры опытных и контрольного образцов хлеба

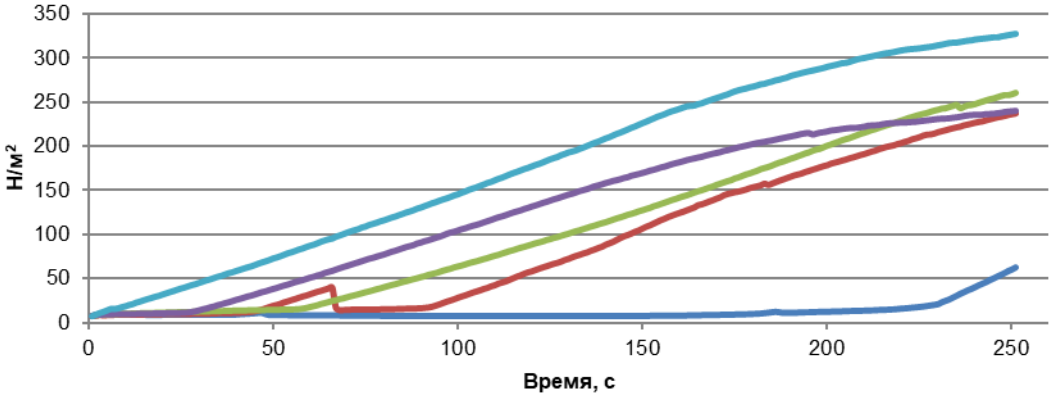
Figure 1 – Recipes for experimental and control samples of bread

Разнообразие рецептур, обусловленное варьированием дозировки ключевого компонента – конопляной муки, позволяет провести сравнительный анализ и выявить влияние данного ингредиента на реологические показатели тестовой заготовки, а также на физико-химические и органолептические показатели качества готового продукта.

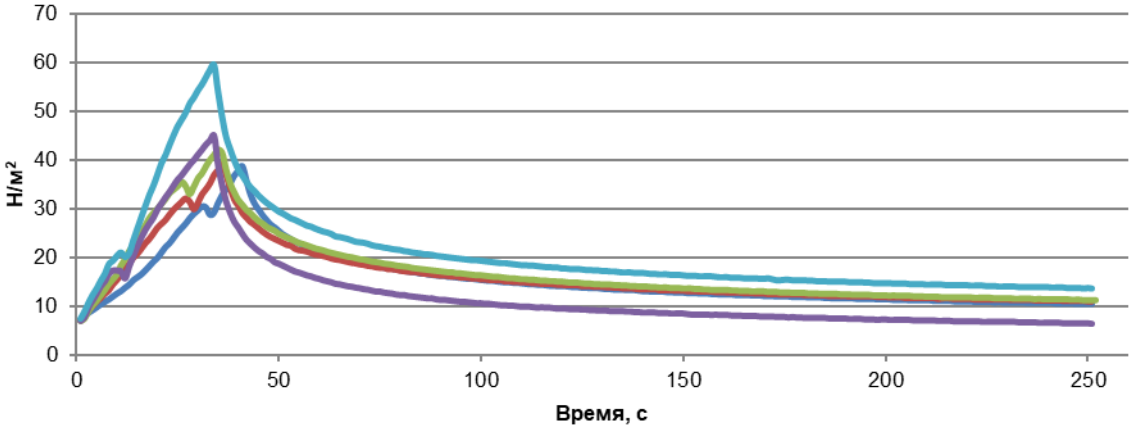
Для понимания влияния конопляной муки на характеристики теста и выявления потенциальных причин изменений качества конечного продукта проведено исследование реологических свойств теста, включающее определение предельного напряжения сдвига, вязкости и релаксации.



а (a)



б (b)



в (c)

Рисунок 3 – Результаты исследования реологических показателей, где: а – результаты исследования предельного напряжения сдвига; б – исследование вязкости; в – исследование релаксации

Figure 3 – Results of the study of rheological parameters, where: a – results of the study of the ultimate shear stress; b – study of viscosity; c – study of relaxation

Исследование реологических свойств теста показало, что добавление конопляной муки оказывает существенное влияние на его характеристики. В частности, введение конопляной муки в количестве 20 % негативно сказывается на таких важных параметрах, как предельное напряжение сдвига, вязкость и релаксация. Это выражается в снижении предельного напряжения сдвига, что свидетельствует об ослаблении структуры теста и его способности удерживать газ. Кроме того, наблюдается уменьшение вязкости и ухудшение релаксационных свойств, что отрицательно влияет на формирование структуры

мякиша и может приводить к получению более плотного и менее эластичного хлеба.

Результаты сенсорного анализа, включающего оценку внешнего вида, цвета, запаха, вкуса и консистенции мякиша, представлены в таблице 2. Фокус-группа состояла из 15 участников (n = 20), включающих 10 женщин и 10 мужчин в возрасте 20–50 лет, из которых 6 человек имели опыт сенсорной оценки хлебобулочных изделий, а остальные – рядовые потребители. Данные таблицы позволяют сравнить органолептические характеристики хлеба с различным содержанием конопляной муки и выявить влияние данного вида муки на восприятие качества продукта.

Таблица 2 – Бальная оценка органолептических показателей опытных и контрольного образцов ржаного хлеба

Table 2 – Scoring of organoleptic indicators of experimental and control samples of rye bread

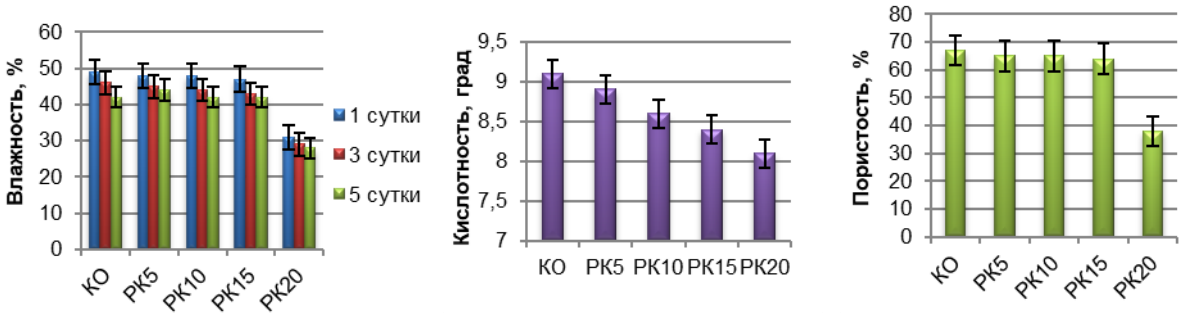
Наименование образца	Показатель				
	Внешний вид	Цвет	Запах	Вкус	Консистенция мякиша
КО	5	5	5	5	5
РК5					
РК10					
РК15			4	4	
РК20	2	4	3	2	2

Полученные данные позволили охарактеризовать органолептический профиль образцов и выявить влияние рецептурных компонентов на сенсорные характеристики готового продукта.

Результаты органолептической оценки образцов ржаного хлеба, приготовленных с добавлением различного количества конопляной муки, свидетельствуют о сохранении высоких потребительских свойств при ее введении в рецептуру в объеме от 5 % до 15 %. В этом интервале концентраций не наблюдалось статистически значимого ухудшения органолептических показателей. Внешний вид, цвет корки и мякиша, а также вкус, запах и консистенция мякиша с добавлением 5 %, 10 % и 15 % конопляной муки соответствовали требованиям ГОСТ 31807-2018 и имели высокие балльные оценки, сравнимые с контрольным образцом ржаного хлеба без нетрадиционного вида муки.

Однако при увеличении содержания конопляной муки до 20 % отмечено резкое ухудшение органолептических характеристик. В частности, наблюдалось изменение аромата в сторону появления нехарактерных оттенков, вкус приобрел выраженную горечь, консистенция мякиша стала более плотной, снизилась его эластичность и упругость. Эти изменения свидетельствуют о негативном влиянии высокой концентрации конопляной муки на сенсорные свойства хлеба, что связано с особенностями химического состава данного вида муки и ее взаимодействием с компонентами теста в процессе выпечки.

Далее изучали физико-химические показатели, результаты представлены на рисунке 2. Анализ физико-химических показателей образцов хлеба подтвердил тенденции, выявленные в ходе органолептической оценки.



а (a) б (b) в (c)

Рисунок 2 – Результаты исследования физико-химических показателей, где: а – результаты исследования влажности на 1, 3 и 5 сутки; б – исследование кислотности; в – исследование пористости

Figure 2 – Results of the study of physicochemical parameters, where: a – results of the study of humidity on the 1st, 3rd and 5th days; b – study of acidity; c – study of porosity

Установлено, что добавление конопляной муки в диапазоне концентраций от 5 % до 15 % не вызывает значительных изменений исследуемых параметров по сравнению с контрольным образцом, приготовленным без использования нетрадиционного сырья. Однако увеличение содержания конопляной муки до 20 % приводит к существенному ухудшению физико-химических характеристик готового продукта.

Влажность хлеба с 20 % содержанием конопляной муки в день выпечки составила 30 %, что на 18 % ниже, чем у контрольного образца. Наблюдалось также значительное снижение пористости, что коррелирует с результатами органолептической оценки, указывающими на более плотную структуру мякиша. Кроме того, отмечено снижение кислотности в образце с 20 % конопляной муки по сравнению как с контрольным образцом, так и с другими опытными образцами, содержащими меньшее количество данного вида муки. Такое изменение кислотности негативно влияет на вкусоароматические характеристики готового изделия, способствуя развитию нежелательных привкусов и запахов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование выявило двойственный характер влияния добавления конопляной муки на качество ржаного хлеба. В диапазоне концентраций 5–15 % конопляная мука не оказывает значительного

негативного воздействия на органолептические и физико-химические свойства готового продукта, сохраняя его высокие потребительские качества. Это свидетельствует о перспективности применения конопляной муки в качестве нетрадиционного ингредиента, обогащающей хлеб биологически ценными компонентами без ущерба для вкусоароматических характеристик и структурных параметров.

Однако, превышение оптимальной концентрации (свыше 15 %) приводит к выраженному ухудшению реологических, органолептических и физико-химических показателей. Установлено снижение предельного напряжения сдвига и вязкости теста, ухудшение его релаксационных свойств, а также изменение влажности, пористости и кислотности готового хлеба. Совокупность этих изменений обуславливает формирование плотного мякиша, снижение эластичности и появление нежелательных вкусоароматических оттенков.

Для достижения баланса между повышением биологической ценности продукта и сохранением его потребительских свойств, рекомендуется придерживаться установленного диапазона концентраций (5–15 %) и учитывать влияние конопляной муки на реологические характеристики теста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Flour-Based Wheat Bread as Fortified Bakery Product. / I.E. Rusu [и др.]. // Plants. 2021. № 10, 1558. https://doi.org/10.3390/plants10081558.

2. Hemp flour as a valuable component for enriching physicochemical and antioxidant properties of wheat bread / A. Mikulec [и др.]. // LWT. 2019. № 102. С. 164–172. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.028.

3. Seed Composition of Ten Industrial Hemp Cultivars Approved for Production in Canada / E. Vonapartis [и др.]. // J. Food Compos. Anal. 2015. № 39. С. 8–12. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.004.

4. Hemp Seed-Based Food Products as Functional Foods: A Comprehensive Characterization of Secondary Metabolites Using Liquid and Gas Chromatography Methods / E. Trovato [и др.]. // J. Food Compos. Anal. 2023. № 117. 105151. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105151.

5. Effect of Genotype and Growing Year on the Nutritional, Phytochemical, and Antioxidant Properties of Industrial Hemp (*Cannabis Sativa* L.) Seeds / M. Irakli [и др.]. // Antioxidants. 2019. № 8. 491. https://doi.org/10.3390/antiox8100491.

6. Comparative Study of Chemical, Biochemical Characteristic and ATR-FTIR Analysis of Seeds, Oil and Flour of the Edible Fedora Cultivar Hemp (*Cannabis sativa* L.) / F. Siano [и др.]. // Molecules. 2019. № 24. 83. https://doi.org/10.3390/molecules24010083.

7. A chestnut-hemp type-II sourdough to improve technological, nutritional, and sensory properties of gluten-free bread / M. Montemurro [и др.]. // Int J Food Microbiol. 2023. № 404. 110322. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110322.

8. Impact of enzymatic and microbial bioprocessing on antioxidant properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) / E. Pontonio [и др.]. // Antioxidants. 2020. № 9 (12). 1258. https://doi.org/10.3390/antiox9121258.

9. Чернов М.Е. Влияние реологических свойств макаронного теста с добавлением кукурузной муки при интенсивном замесе на процесс прессования // Хлебопродукты. 2018. № 8. С. 58–59.

10. Корнышова Н.Н., Корнышов А.В. Дикие пекари. Москва: Комсомольская правда, 2020. 158 с.

11. ГОСТ 31807-2018 Изделия хлебобулочные из ржаной хлебопекарной и смеси ржаной и пшеничной хлебопекарной муки. Общие технические условия введ. 2023–07–01. Москва, 2023, 15 с.

12. ГОСТ 5669 – 96. Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости введ. 1997.07.31. Москва, 2006, 2 с.

13. ГОСТ 5670 – 96. Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности введ. 1997.07.31. Москва, 1997, 5 с.

14. ГОСТ 21094-2022. Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности введ. 2023.07.01. Москва, 2023, 11 с.

Информация об авторах

Д. Е. Колпакова – младший научный сотрудник молодежной лаборатории НИУ, КемГУ, ассистент кафедры бионанотехнологии КемГУ, аспирант 2 года обучения по направлению 4.3.3 Пищевые системы Кемеровского государственного университета.

Ю. Р. Сеpазетдинова – младший научный сотрудник молодежной лаборатории НИУ, КемГУ, ассистент кафедры бионанотехнологии КемГУ, аспирант 2 года обучения по направлению 2.7.1 Биотехнологии пищевых продуктов, лекарственных и биологически активных веществ Кемеровского государственного университета.

И. И. Плешивцев – аспирант 2 года обучения по направлению 4.3.3 Пищевые системы Кемеровского государственного университета.

Т. В. Тамарзина – Старший преподаватель, кафедра режиссуры театрализованных представлений и праздников ФГБОУ ВО «КемГИК».

Л. К. Асякина – доктор технических наук, заведующий молодежной лабораторией НИУ, КемГУ, доцент, профессор кафедры бионанотехнологии Кемеровского государственного университета.

REFERENCES

1. Rusu I.E., Marc R.A., Mureşan C.C., Mureşan A.E., Mureşan V., Pop C.R., Chiş M.S., Man S.M., Filip M.R., & Onica B.-M. (2021). Flour-Based Wheat Bread as Fortified Bakery Product. Plants, (10), 1558. https://doi.org/10.3390/plants10081558.

2. Mikulec A., Kowalski S., Sabat R., Skoczylas Ł., Tabaszewska M., & Wywrocka-Gurgul A. (2019). Hemp flour as a valuable component for enriching physicochemical and antioxidant properties of wheat bread. LWT, (102), 164–172. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.028.

3. Vonapartis E., Aubin M.-P., Seguin P., Mustafa A.F., & Charron J.-B. (2015). Seed Composition of Ten Industrial Hemp Cultivars Approved for Production in Canada, J. Food Compos. Anal, 39, 8–12. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.004.

4. Trovato E., Arena K., La Tella R., Rigano F., Laganà Vinci R., Dugo P., Mondello L. & Guarnaccia P. (2023). Hemp Seed-Based Food Products as Functional Foods: A Comprehensive Characterization of Secondary Metabolites Using Liquid and Gas Chromatography Methods, J. Food Compos. Anal, (117), 105151. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105151.

5. Irakli M., Tsaliki E., Kalivas A., Kleisiaris F., Sarrou E. & Cook C.M. (2019). Effect of Genotype and Growing Year on the Nutritional, Phytochemical, and Antioxidant Properties of Industrial Hemp (*Cannabis*

Sativa L.) Seeds, Antioxidants, (8), 491. https://doi.org/10.3390/antiox8100491.

6. Siano F., Moccia S., Picariello G., Russo G.L., Sorrentino G., Di Stasio M., La Cara F. & Volpe M.G. (2019). Comparative Study of Chemical, Biochemical Characteristic and ATR-FTIR Analysis of Seeds, Oil and Flour of the Edible Fedora Cultivar Hemp (*Cannabis sativa* L.), Molecules, (24), 83. https://doi.org/10.3390/molecules24010083.

7. Montemurro M., Beccaccioli M., Perri G., Rizzello C.G., Reverberi M., & Pontonio E. (2023). A chestnut-hemp type-II sourdough to improve technological, nutritional, and sensory properties of gluten-free bread, Int J Food Microbiol, (404), 110322. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110322.

8. Pontonio E., Verni M., Dingeo C., Diaz-de-Cerio E., Pinto D., & Rizzello C.G. (2020). Impact of enzymatic and microbial bioprocessing on antioxidant properties of hemp (*Cannabis sativa* L.), Antioxidants, (9 (12)), 1258. https://doi.org/10.3390/antiox9121258.

9. Chernov M.E., & Strigulina E.V. (2018). The influence of rheological properties of pasta dough with the addition of corn flour during intensive kneading on the pressing process, Bread Products, (8), 58–59. (In Russ.).

10. Kornyshova N.N. & Kornyshov A.V. (2020). Wild Bakers. Moscow: Komsomolskaya Pravda. (In Russ.).

11. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification. (2023). Bakery products. Acceptance rules, sampling methods, methods for determining organoleptic characteristics and weight of products (5667-2022). Taken from – https://docs.cntd.ru/document/350939603. (In Russ.).

12. Interstate council for standardization, metrology and certification. (1997). Bakery products. Method for determination of porosity (5669 – 96). Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/1200022325. (In Russ.).

13. Interstate council for standardization, metrology and certification. (1997). Bread, rolls and buns. Methods for determination of acidity (5670 – 96). Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/1200021542. (In Russ.).

14. Interstate council for standardization, metrology and certification. (2023). Bakery products. Methods of the moisture determination (21094-2022). Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/1200193710. (In Russ.).

Information about the authors

D. E. Kolpakova – Junior Research at the Youth Laboratory, National Research University, KemSU, Assistant, Department of Bionanotechnology, KemSU, 2nd year postgraduate student in the field of 4.3.3 Food Systems, Kemerovo State University.

Yu. R. Serazetdinova – Junior Research at the Youth Laboratory, National Research University, KemSU, Assistant, Department of Bionanotechnology, KemSU, 2nd year postgraduate student in the field of 2.7.1 Biotechnology of Food Products, Medicinal and Biologically Active Substances, Kemerovo State University.

I. I. Pleshivtsev –2nd year postgraduate student in the field of 4.3.3 Food Systems, Kemerovo State University.

T. V. Tamarzina – Senior Lecturer, Department of Directing Theatrical Performances and Festivals, KemGIK.

L. K. Asyakina – Doctor of Technical Sciences, Head of Youth Laboratory, National Research University, KemSU, Associate Professor, Professor, Department of Bionanotechnology, Kemerovo State University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 92–100.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 92–100.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.144
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.015 EDN: GEVWTG

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРЯНЫХ ЦУКАТОВ ИЗ ВИШНИ И ЧЕРЕШНИ

Валентина Федоровна Жукова [1], Татьяна Викторовна Карман [2], Марина Николаевна Адонина [3], Карина Анатольевна Вакасова [4]

[1, 2, 3, 4] Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия
[1] zhuzhuvf@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1963-659X
[2] t.karman@mgu-mlt.ru, https://orcid.org/0000-0002-9313-554X
[3] marinaadonina558@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-1878-1996
[4] karina.vakasova@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0007-0257-9350

Аннотация. *Разработана инновационная технология производства вишневых и черешневых цукатов с добавлением пряно-ароматических трав: мяты, розмарина, тимьяна. Актуальность проведенной научной работы заключается не только в расширении ассортимента и увеличении объемов переработки плодов, но и играет важную роль в улучшении качества питания и профилактике заболеваний. Для оптимизации процесса производства проведен анализ существующих технологий, выявлены их преимущества и недостатки. Показана целесообразность введения в сахарный сироп пряностей. Анализ их физико-химических показателей показал, что они богаты ценными биологически активными соединениями. Добавление лимона в сироп способствует улучшению вкуса черешневых цукатов и препятствует их ферментативному потемнению в процессе термообработки. Проанализирован химический состав свежих плодов вишни и черешни. Содержание сухих веществ у черешни выше на 11 %, что обуславливает более плотную консистенцию этих плодов. Для переработки на цукаты важно использовать плоды с повышенным уровнем данного показателя. Установлено наличие в плодах антиоксидантов: витамина С, полифенолов, хлорофиллов и каротиноидов, которые обеспечивают лечебно-оздоровительный эффект для организма и указывает на целесообразность переработки данного сырья с функциональными, диетическими и профилактическими свойствами. Оценка показателей качества готовых цукатов показала, что они соответствуют требованиям стандарта, обладают приятным кисло-сладким или сладким с кислинкой вкусом, имеют легкое пряное, сбалансированное послевкусие и гармоничный средней интенсивности запах. Полученная технология производства цукатов позволяет улучшить их дегустационные показатели и является перспективной благодаря наличию богатой сырьевой базы в Запорожской области.*

Ключевые слова: *цукаты, технология, вишня, черешня, производство, оценка качества.*

Благодарности: *Исследования выполнены в рамках государственного задания на проведение научно-исследовательской работы по теме «Инновации в пищевой индустрии и сфере услуг» (FRRS-2023-0010).*

Для цитирования: Жукова В. Ф., Карман Т. В., Адонина М. В., Вакасова К. А. Разработка технологии производства пряных цукатов из вишни и черешни // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 92–100. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.015. EDN: https://elibrary.ru/GEVWTG.

Original article

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF SPICY CANDIED FRUITS FROM CHERRIES AND SWEET CHERRIES

Valentina F. Zhukova [1], Tatiana V. Karman [2], Marina N. Adonina [3], Karina A. Vakasova [4]

[1, 2, 3, 4] Melitopol State University, Zaporizhia region, Russia
[1] zhuzhuvf@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-1963-659X
[2] t.karman@mgu-mlt.ru, https://orcid.org/0000-0002-9313-554X
[3] marinaadonina558@gmail.com, https://orcid.org/0009-0009-1878-1996
[4] karina.vakasova@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0007-0257-9350

Abstract. *An innovative technology has been developed for the production of cherry and candied cherry fruits with the addition of aromatic herbs: mint, rosemary, thyme. The relevance of the scientific work carried out lies not only in expanding the range and increasing the volume of fruit processing, but also plays an important role in improving the quality of nutrition and disease prevention. To optimize the production process, an analysis of existing technologies was carried*

© Жукова В. Ф., Карман Т. В., Адонина М. В., Вакасова К. А., 2026

out, their advantages and disadvantages were identified. The expediency of introducing spices into sugar syrup is shown. Analysis of their physico-chemical parameters has shown that they are rich in valuable biologically active compounds. The addition of lemon to the syrup improves the taste of candied cherries and prevents their enzymatic browning during heat treatment. The chemical composition of fresh fruits of cherries and sweet cherries is analyzed. The dry matter content of sweet cherries is 11 % higher, which causes a denser consistency of these fruits. For processing into candied fruits, it is important to use fruits with an increased level of this indicator. The presence of antioxidants in fruits has been established: vitamin C, polyphenols, chlorophylls and carotenoids, which provide a therapeutic and health-improving effect for the body and indicates the expediency of processing this raw material with functional, dietary and preventive properties. Evaluation of the quality indicators of the finished candied fruits showed that they meet the requirements of the standard, have a pleasant sweet and sour or sweet with sour taste, have a light spicy, balanced aftertaste and a harmonious medium-intensity odor. The resulting technology for the production of candied fruits makes it possible to improve their tasting performance and is promising due to the presence of a rich raw material base in Zaporizhia region.

Keywords: *candied fruits, technology, cherry, sweet cherry, production, quality assessment.*

Acknowledgements*: The research was carried out within the framework of the state assignment for conducting research work on the topic «Innovations in the food industry and the service sector» (FRRS-2023-0010).*

For citation: Zhukova, V. F., Karman, T. V. Adonina, M. N. & Vakasova, K.A. (2026). Development of technology for production of spicy candied fruits from cherries and sweet cherries. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 92-100. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.015. EDN: https: //elibrary.ru/GEVWTG.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ данных Росстата за последние два десятилетия подтверждает значительное ухудшение структуры питания населения России и, как следствие, рост заболеваемости, связанной с пищевыми дефицитами [1]. Современный рацион несбалансирован из-за низкого уровня потребления растительной пищи, что приводит к дефициту сложных углеводов и пищевых волокон. Это стало этиологическим фактором в нарушении метаболических процессов и развитии сопутствующих заболеваний, таких как дерматологические и желудочно-кишечные, ожирение, дисбактериоз, дисфункция кишечника, диабет второго типа, ряд онкологических патологий, синдром хронической усталости. Большинство россиян потребляют значительно меньше пищевых волокон, чем рекомендовано, что может приводить к дисбактериозу, нарушениям обмена веществ, снижению иммунитета и развитию воспалительных процессов.

Адекватный пищевой статус является критерием здоровья, поэтому сбалансированное питание стало отчасти элементом комплексной терапии заболеваний внутренних органов и эффективным инструментом их профилактики [2]. Данная социально-экономическая тенденция оказывает существенное влияние на пищевую индустрию, способствуя динамичному развитию рынка продуктов для здорового питания. Прогнозируется, что в перспективе ближайших 15 лет доля такой продукции в общем объеме потребления продовольствия в России может превысить 30 % [3]. Данный прогноз коррелирует с целями Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года [4].

Проблема алиментарно-зависимых нарушений привела к необходимости оптимизации рецептур и технологий производства традиционных продуктов, а также разработке инновационных продуктов, удовлетворяющих насущным потребностям населения. Перспективным направлением становится использование экологически безопасных, нетрадиционных растительных ресурсов, обогащающих пищевой рацион жизненно важными нутриентами для достижения оптимального физиологического уровня в организме. Особое внимание заслуживает создание продуктов с низкой калорийностью, повышенным содержанием антиоксидантов, клетчатки, с функциональными, диетическими и профилактическими свойствами [5].

Стратегия повышения продовольственной безопасности, реализуемая Министерством сельского хозяйства, приоритетно ориентирована на наращивание объемов производства плодовоовощной продукции. Российский сектор садоводства демонстрирует устойчивый рост объемов производства [6]. На фоне повышенного интереса населения к здоровому питанию возрастает спрос на свежие фрукты. Доминирующее положение в структуре отечественного производства занимают косточковые и семечковые культуры. Основные регионы производства локализованы в центральной и южной частях РФ, которые обеспечивают более 50 % валового сбора косточковых и до 97 % семечковых культур. Среди косточковых активно возделываются абрикосы, персики, сливы, вишня и черешня.

Плодоводство занимает важное место в сельскохозяйственном секторе Запорожской области, которая имеет богатый природно-ресурсный потенциал для возделывания этих культур. Здесь имеется значительное многообразие сортового состава насаждений с повышенными качественными характеристиками, адаптивностью к засушливым агроэкологическим условиям и высокой технологичностью [7]. В категории косточковых культур региона особую ценность представляют раннеспелые виды, такие как черешня и вишня. Эти культуры эффективно дополняют друг друга в секторе пищевых производств, а при рациональном формировании сортового состава промышленных садов обеспечивают возможность стабильного поступления свежей продукции на протяжении двух месяцев.

Черешня – ведущий сельскохозяйственный специалитет Мелитопольского округа. В 2024 году Роспатент официально присвоил статус географического указания продукту «Мелитопольская черешня». Ценность плодов черешни заключается в раннем созревании, высоких органолептических характеристиках, значительном содержании легкоусвояемых сахаров, пектина, флавоноидов, железа и фолиевой кислоты, низкой кислотности [8-11]. Плоды вишни богаты антоцианами, фенольными соединениями, каротиноидами [12]. Плоды данных культур можно отнести к категории продуктов функционального направления, содержащиеся в них эссенциальные нутриенты, витамины, антиоксиданты способствуют укреплению клеточного иммунитета и оптимизации метаболических процессов организма [13,14].

Несмотря на высокие показатели валового сбора, потери на стадии хранения составляют выше 25 %. Период употребления вишни и черешни в свежем виде ограничен, поэтому эти плоды используются в качестве сырья для производства замороженных и консервированных продуктов. На современном этапе актуализируется задача разработки современных технологий переработки этих плодов с целью

непрерывного круглогодичного снабжения населения. Существующие способы консервирования не в полной мере обеспечивают необходимое качество и сохранность пищевых и биологически активных веществ.

Для повышения конкурентоспособности продуктов из этого сырья и расширения рынков сбыта необходимо проведение научно-исследовательской работы по разработке инновационных технологий переработки. Инвестиции в науку и технологии являются ключевым фактором в достижении устойчивого развития региональной экономики, опирающейся на уникальные специалитеты и природные ресурсы. Это позволит не только расширить ассортимент и увеличить объемы производства плодов данных культур, но и сыграет важную роль в профилактике заболеваний и улучшении качества питания.

В данной ситуации особую актуальность приобретает разработка и внедрение инновационных технологий переработки плодов вишни и черешни с максимальным сохранением питательной ценности и органолептических свойств конечного продукта. Перспективным направлением является технология осмотического обезвоживания с последующим насыщением мякоти плодов сахаром и получением цукатов. Данный метод обладает преимуществами перед традиционными методами сушки и консервирования, поскольку способствует не только увеличению срока годности и удобству транспортировки, но и качественному изменению состава фруктов с увеличением общего количества сухих веществ.

Сушеная растительная продукция – удобный и доступный способ повысить уровень потребления пищевых волокон и других ценных микронутриентов. В отличие от других высококалорийных кондитерских изделий, цукаты обладают ценными пищевыми свойствами благодаря высокому содержанию эссенциальных нутриентов [15]. Их потребление не ограничивается непосредственным приемом в пищу – цукаты используют в кондитерской промышленности в качестве начинки для мучных изделий, наполнителей для кисломолочных напитков, отделочных полуфабрикатов для декора тортов, пирожных.

В соответствии с ГОСТ 31459-2012 цукаты – продукт, изготовленный из фруктово-ягодного сырья, прошедшего обработку в сладком сиропе и последующую сушку [16].

Производство цукатов осуществляется различными технологическими методами, имеющими существенные отличия [17,18]. Традиционный метод предполагает варку подготовленного сырья в сахарном сиропе с последующим отделением сиропа и сушкой. Этот процесс может включать предварительное бланширование, которое, несмотря на потенциальное улучшение органолептических характеристик, может привести к потерям биологически активных веществ с антиоксидантной активностью. Хотя сахарный сироп способствует стабилизации цвета после сушки некоторых видов фруктов и овощей, в процессе инфузии возможно вымывание растворимых пигментов в осмотический раствор, что влечет за собой потерю интенсивности окраски. Недостатками традиционной технологии являются высокое содержание сахаров (68-72 %), образование карамелизованного сахара и окисленных полифенолов, негативно влияющих на товарный вид и вкусовые качества, а также снижение содержания биологически активных веществ [19].

Альтернативой служат «сухие» технологии, при которых сырье засыпается сахаром для выделения собственного сока. Полученный сок подвергается кипячению, после чего в него погружают сырье и варят в течение 3-7 минут [20]. Применение данной технологии позволяет получить продукт с пониженным содержанием сахара (56,2 %) и высоким содержанием β-каротина (20 мг/100 г). При этом выбор сорта играет важную роль, так как химический состав и физические свойства плодов варьируются в зависимости от видовых и сортовых особенностей, агротехнологии и условий хранения.

Для оптимизации вкусоароматического профиля цукатов рекомендуется использовать пряно-ароматические добавки. Ввиду вариабельности технологических свойств сырья, необходима постоянная оптимизация производственных процессов для обеспечения высокого качества готовой продукции.

Цель научных исследований состоит в разработке технологии производства вишневых и черешневых цукатов с добавлением пряно-ароматической фитокомпозиции.

В соответствии с целью решались задачи:

1. Провести анализ физико-химических показателей свежих плодов вишни, черешни, лимона, пряно-ароматических трав.

2. Провести оценку показателей качества готовых цукатов.

3. Проанализировать влияние технологических особенностей приготовления на качество готовых цукатов.

МЕТОДЫ

Исследования проводились в период с 2024 по 2025 гг. на базе лаборатории кафедры «Гостиничная и ресторанная деятельность» Мелитопольского государственного университета. Объектом изучения стали вишневые и черешневые цукаты повышенной пищевой ценности. В экспериментальных образцах в цукаты добавляли пряно-ароматическую фитокомпозицию. В работе использовалось сырье, соответствующее требованиям действующей нормативной документации: вишня и черешня свежие (ГОСТ 33801-2016), лимон (ГОСТ 34307-2017), сахар (ГОСТ 33222-2015), мята, тимьян (ГОСТ 32883-2014), розмарин (ГОСТ 31791-2012).

Отбор проб, а также оценку органолептических показателей качества осуществляли по ГОСТ 34130-2017. Содержание сухих веществ в цукатах определяли термогравиметрически по ГОСТ 28561-90. Титруемую кислотность измеряли титрованием с индикатором по ГОСТ ISO 750-2013. Массовую долю общего сахара – по ГОСТ 8756.13-87. Содержание витамина С – по ГОСТ 24556-89. Концентрацию пигментов – спектрофотометрически после экстракции ацетоном в максимумах поглощения каротиноидов и хлорофиллов [21]. Суммарное содержание полифенолов – по ГОСТ 55488-2013.

Полученные данные обрабатывали стандартными методами статистического анализа. Все эксперименты проводились в трехкратной повторности.

В рамках исследования оценивалась пригодность для производства цукатов следующих сортов: черешня – Валерий Чкалов, вишня – Прима.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для создания цукатов повышенной пищевой ценности целесообразно провести анализ растительного сырья, используемого для их производства. На уровень накопления нутриентов в плодах влияют погодно-климатические условия, состав почвы, приемы агротехники [22-24]. Результаты анализа питательных

веществ в вишне, черешне, лимоне, пряно-ароматических травах представлены в таблице 1.

Показатель содержания сухих веществ (СВ) в плодах является критически значимым параметром, т. к. оказывает непосредственное влияние на качество консервированной продукции после ее переработки. Чем выше данный уровень в исходном сырье, тем большую пищевую ценность будут иметь цукаты. Это обусловлено тем, что в процессе таких видов обработки, как высушивание или консервирование, происходит удаление влаги, в то время как эссенциальные нутриенты концентрируются. Следовательно, продукты, полученные из сырья с высоким уровнем СВ, будут обладать лучшими потребительскими свойствами, а также демонстрировать более высокое содержание незаменимых элементов, что, в свою очередь, повышает их общую пищевую ценность.

Таблица 1 – Физико-химические показатели сырья, выращенного на территории Запорожской области

Table 1 – Physico-chemical parameters of raw materials grown in the territory of the Zaporizhia region

№	Наименование показателя	Плоды свежие			Пряно-ароматические травы свежие		
		Вишня	Черешня	Лимон	Тимьян	Розмарин	Мята
1	Массовая доля сухих веществ, %	16,44	18,62	22,08	11,25	11,54	12,06
2	Титруемая кислотность, г ЯК / 100 г (вишня, черешня), г ЛК / 100 г (лимон)	1,20	0,62	5,92	0,32	0,40	0,28
3	Общее содержание сахаров, %	10,32	17,10	5,04	2,76	1,88	1,71
4	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	11,45	15,34	32,02	38,09	24,50	44,10
5	Фенольные вещества, мг ГКЭ/100 г	122,64	189,16	109,76	86,54	107,08	119,80
6	Каротиноиды, мг/100 г	0,170	0,120	0,025	0,31	0,14	0,23
7	Хлорофиллы, мг/100 г	-	-	-	64,08	72,45	119,16



а) б) в)

Рисунок 1 – Пряно-ароматические травы для обогащения цукатов: а – мята перечная, б) – розмарин обыкновенный, в) – тимьян ползучий

Figure 1 – Aromatic herbs for enriching candied fruits: a) – peppermint, b) – rosemary ordinary, c) – thyme creeping

Исследования показали, что плоды вишни и черешни характеризуется достаточно высоким содержанием СВ, однако у черешни этот показатель выше на 11 %, поэтому консистенция этих плодов более плотная. Для улучшения вкусо-ароматического профиля черешневых цукатов в состав сиропа на начальном этапе вводили лимон, титрованная кислотность которого выше в сравнении с черешней в 9,54 раза.

При производстве вишневых цукатов не было потребности в добавлении лимона, т.к. эти плоды имеют достаточно высокое содержание кислот. Общее содержание сахаров в плодах черешни превышало этот уровень у вишни в 1,66 раза. Сладость вишневых цукатов повышали за счет введения большего количества сахара в соответствии с рецептурой.

Свежие плоды вишни и черешни отличались повышенным уровнем биологически активных веществ, антиоксидантов. Содержание витамина С и фенольных соединений в плодах достаточно высокое, однако в черешне было выше в сравнении с вишней в 1,33 и 1,54 раза соответственно. Эндогенный пул данных антиоксидантов формирует антирадикальную емкость плодов и обеспечивает лечебно-оздоровительный эффект для организма при их систематическом потреблении [25].

По результатам анализов вишня имела повышенный в 1,42 раза в сравнении с черешней уровень каротиноидов. Хлорофиллы отсутствовали в плодах всех исследуемых образцов: вишне, черешне, лимоне.

Анализ пряно-ароматических трав показал, что уровень СВ у них – в пределах 11,25…12,06 %. Титруемая кислотность и сахара содержатся в незначительном количестве. По уровню витамина С лидировала мята, его количество было выше, чем в тимьяне и розмарине, на 16,63 и 44,44 % соответственно. В мяте также установлен высокий уровень полифенолов, превышающий этот показатель в розмарине на 1,12, а в тимьяне – на 1,38 %.

Свежие травы содержат небольшое количество каротиноидов, однако уровень хлорофиллов достаточно высокий – в пределах 64…119 мг/100 г. Как известно [26], хлорофиллы обладают выраженными антиоксидантными свойствами и имеют противоканцерогенную активность, что повышает интерес к их использованию для обогащения продуктов питания.

В ходе исследований для оптимизации процесса производства цукатов был проведен анализ существующих технологий, выявлены их преимущества и недостатки. В основе производства цукатов лежит процесс замещения воды в плодах сахаром путем погружения их в сахарный сироп. Хотя технологии производства цукатов из вишни и черешни могут варьироваться, традиционный процесс включает следующие этапы:

1. Подготовка сырья: сортировка, мойка, очистка от плодоножек и косточек.

2. Бланширование: обработка кипятком (3-10 минут) для инактивации ферментов, предотвращения потемнения и улучшения проницаемости клеток для сиропа.

3. Охлаждение в холодной воде для предотвращения переваривания.

4. Подсушивание: размещение на противнях для удаления лишней влаги.

5. Глазирование: покрытие поверхности плодов сахарной пленкой. Различают откидные цукаты (с прочной подсохшей пленкой из сиропа на поверхности) и глазированные: тираженные / кандированные цукаты в насыщенном сахарном сиропе (с блестящей корочкой).

Глазирование происходит путем многократного погружения в горячий (90-95°С) сахарный сироп (80-82 %) с последующим подсушиванием на поверхности плодов до образования корочки. Кандирование обеспечивает более однородную корочку при выдерживании в охлажденном (35-40 °С) пересыщенном сиропе сахарозы 10-12 мин для увеличения уровня сахара в них до 70 %.

6. Сушка: удаление излишков сиропа и сушка при температуре 50-70°С до достижения влажности 14-17 %. Сироп, стекающий с плодов, может использоваться для производства других продуктов.

Готовые цукаты, благодаря высокой концентрации сахара (60-65 %), устойчивы к микробиологической порче. Оптимальные условия хранения – сухое помещение с относительной влажностью (ОВВ) до 75 % и температурой от 0 до 20°С. Срок годности – до 6 месяцев [27].

В ходе научной работы технологический процесс производства цукатов проводили в соответствии со схемой, указанной на рис. 2.

Для приготовления цукатов плоды вишни и черешни мыли, очищали от несъедобных частей: плодоножек и косточек, насыщали углеводами в концентрированном сахарном сиропе (с содержанием сухих веществ 70 %) путем двухкратной варки с разной продолжительностью термообработки: 6 мин для черешни и 3 мин для вишни. Затем выдерживали плоды в сиропе до полного охлаждения, отделяли жидкую фазу и сушили до остаточной влажности не более 17 % при температуре 55±5°С. После этого продукт охлаждали. На конечном этапе проводили обсыпку цукатов смесью кукурузного крахмала и сахарной пудры в соотношении 1:1 в количестве 14±1 % от массы плодов. Это улучшает внешний вид готового продукта и предотвращает слипание в процессе хранения. После фасовки цукаты можно хранить в течение 6 мес. при указанных условиях.

Для обогащения вкусоароматического профиля цукатов в сироп вводили лимон и пряности, которые богаты эфирными маслами, полифенолами, витамином С, каротиноидами и другими биологически активными соединениями, обладают противомикробными, антиоксидантными и консервирующими свойствами [28-31].

Роль лимона не ограничивалась только улучшением вкуса черешневых цукатов. Лимонная кислота в сахарном сиропе эффективно ингибирует ферментативное потемнение плодов в процессе термической обработки. Она обладает стабилизирующим действием на пигменты, предотвращая окислительную деградацию и, следовательно, сохраняя их естественный цвет. Плоды вишни содержат повышенный уровень органических кислот: яблочной, лимонной и пр., которые предотвращают разрушение антоцианов и позволяют сохранить их насыщенный бордовый цвет в процессе теплового воздействия.

Проведенный анализ подтверждает высокие органолептические качества цукатов из вишни и черешни (рис. 3). Вкус цукатов – сладкий с кислинкой или кисло-сладкий, характерный для используемых плодов. Цвет однородный, соответствует высушенным плодам вишни и черешни, а консистенция плотная, без кристалликов сахара. Внешне цукаты представляют собой отдельные плоды одинакового размера. Введение в сахарный сироп мяты, розмарина и тимьяна позволило улучшить ароматический профиль цукатов, придав им приятные пряные нотки.

Оценка показателей качества готовых цукатов приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты оценки показателей качества цукатов из вишни и черешни

Table 2 – Results of evaluation of candied cherry and sweet cherry quality indicators

Показатели	Вишневые цукаты	Черешневые цукаты
Органолептические показатели		
Внешний вид	Сухая поверхность высушенных плодов одинакового размера, без слипания	
Вкус	Кисло-сладкий, полный, сбалансированный, с приятным послевкусием	Сладкий, с легкой кислинкой, полный, сбалансированный, с приятным послевкусием
Цвет	Темно-бордовый, однородный	Коричневый, однородный
Консистенция	Плотная, без выкристаллизовавшегося сахара	
Запах	Гармоничный, приятный, средней интенсивности, натуральный, свойственный сырью, пряный	
Физико-химические показатели		
Массовая доля влаги, %	16,75	15,84
Массовая доля СВ, %	83,25	84,16
Общее содержание сахаров, %	70,34	68,55
Минеральные примеси	отсутствуют	
Посторонние примеси	отсутствуют	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технология производства пряных вишневых и черешневых цукатов. Для оптимизации процесса производства проведен анализ

существующих технологий, выявлены их преимущества и недостатки. Показана целесообразность введения в сахарный сироп пряностей – анализ их физико-химических показателей показал, что они богаты ценными биологически активными соединениями. Добавление лимона в сироп способствует улучшению вкуса черешневых цукатов и препятствует их ферментативному потемнению в процессе термообработки.

Проанализирован химический состав свежих плодов вишни и черешни. Содержание СВ у черешни выше на 11 %, что отражается на более плотной консистенции этих плодов.

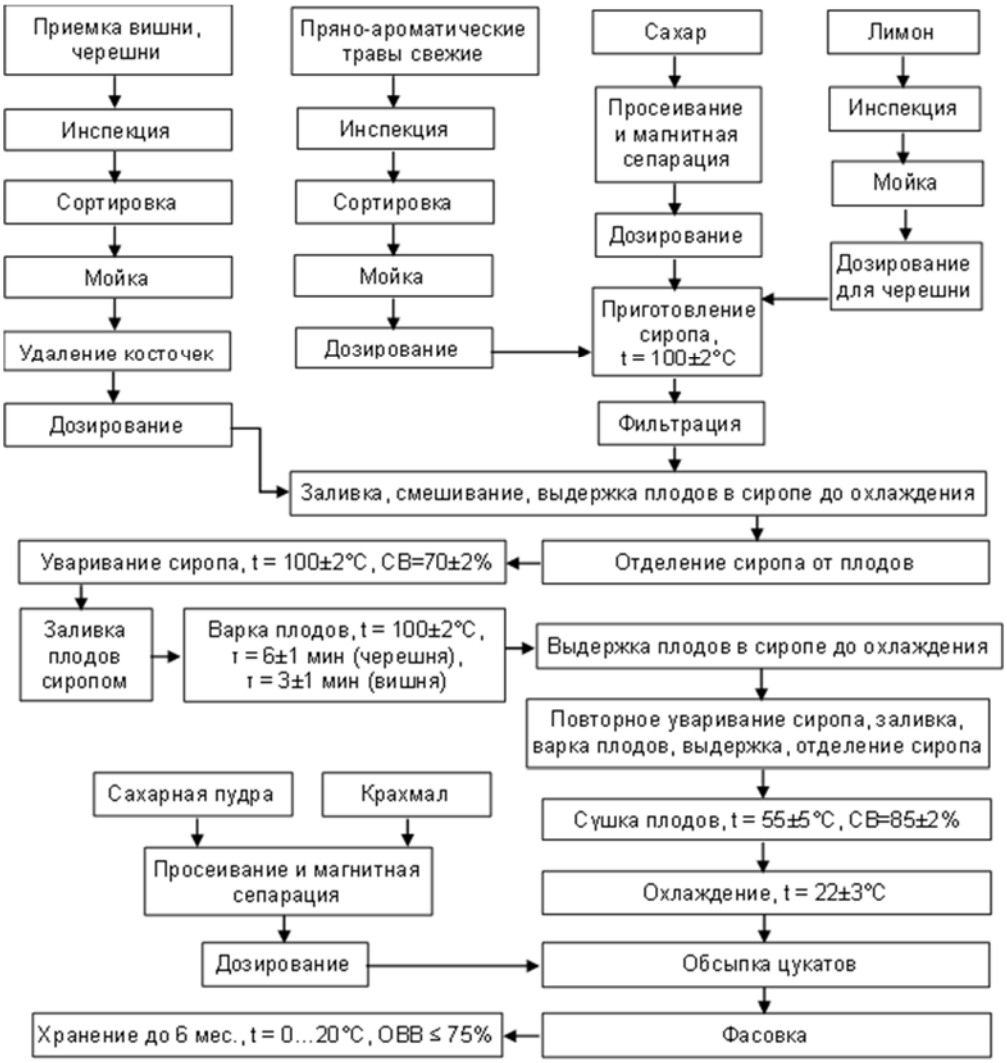


Рисунок 2 – Технологическая схема производства цукатов

Figure 2 – Technological scheme of candied fruit production



а) б)

Рисунок 3 – Внешний вид цукатов: а) – вишневых, б) – черешневых

Figure 3 – Appearance of candied fruits: a) – cherry, b) – sweet cherry

Для переработки на цукаты важно использовать плоды с повышенным уровнем СВ. Наличие в плодах антиоксидантов: витамина С, полифенолов, хлорофиллов и каротиноидов обеспечивает лечебно-оздоровительный эффект для организма и указывает на целесообразность переработки данного сырья для расширения ассортимента консервированных продуктов. Оценка показателей качества готовых цукатов показала, что они соответствуют требованиям стандарта, обладают приятным кисло-сладким или сладким с кислинкой вкусом, имеют легкое пряное, сбалансированное послевкусие и гармоничный средней интенсивности запах.

Полученная технология производства цукатов позволяет улучшить их дегустационные показатели и является перспективной благодаря наличию богатой сырьевой базы в Запорожской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родионова Л.А., Копнова Е.Д. Статистический анализ характеристик рационального питания населения России // Вопросы статистики. 2017. № 7. С. 28-40.

2. Шевкун И.Г., Яновская Г.В., Новикова И.И., Гавриш С.М., Шепелева О.А. Здоровое питание детей – национальная задача государственной политики в сфере образования и основа профилактики нарушений здоровья // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2022. Т.16. № 3. С. 169-175. DOI: 10.57015/issn1998-5320.2022.16.3.17.

3. Корогодина Е.А. Рынок здорового питания: перспективы развития // Региональный вестник. – 2018. № 5(14). С. 6-8.

4. Хоркина Н.А., Четаева К.Г., Шпеко А.Д. Роль государства в продвижении программ здорового питания: мировой опыт // Вопросы государственного и муниципального управления. 2024. № 2. С. 183-210. DOI: 10.17323/1999-5431-2024-0-2-183-210.

5. Рогожникова Е.П., Высокос Я.Р., Гашенко В.И., Казакова А.А. Пищевые волокна – ключевой аспект здорового питания // Журнал Поликлиника. 2024. № 4(3). С. 78-80.

6. ФАО. 2023 год. Обзор плодоовощного сектора государств-членов Евразийского экономического союза. Будапешт. https:// doi.org/10.4060/cc4267en.

7. Алехина Е.М., Доля Ю.А. Селекционное совершенствование сортимента черешни и вишни основа увеличения их производства в Южном регионе. Достижения науки и техники АПК, 2012. № 2. С. 40-42.

8. Туровцева Н.Н., Пюрко О.Е., Васин В.А., Писанец З.Г. Сорта черешни селекции Мелитопольской опытной станции садоводства имени М.Ф. Сидоренко института садоводства НААН. Национальная ассоциация ученых. 2015. № 2-4(7). – С. 151-153.

9. Алибеков Р.С., Еркебаева С.У., Габрильянц Э.А., Шингисов А.У. Общее содержание полифенолов и флавоноидов в сортах черешни казахстанской селекции // Аграрная наука. 2022. № (10). С. 128-131. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-128-131

10. Basanta M.F., Escalada M.F., Raffo M.D., Stortz, C.A., Rojas A.M., Cherry Fibers Isolated from Harvest Residues as Valuable Dietary Fiber and Functional Food Ingredients // Journal of Food Engineering. 2014. № 126. P. 149-55. DOI: 10.1016/J.JFOODENG.2013.11.010.

11. Golubtsova J. Commodity Characteristics and Quality Assessment of Fruit and Berry Raw Materials and Products of Processing Thereof // J. Pharm. Sci. Res. 2017. № 9(7). С. 1091-1098.

12. Колбас Н.Ю., Колбас А.П., Домась А.С., Првулович Д. Оценка биохимических и дегустационных параметров плодов Prunus cerasus L. // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2020. № 2. С. 49-57. https://doi.org/10.33581/2521-1722-2020-2-49-57.

13. Гусейнова Б.М., Абдулгамидов М.Д., Мусаева Р.Т. Пищевая ценность интродуцированных сортов черешни, выращиваемых в условиях предгорной плодовой зоны Дагестана // Health, Food & Biotechnology. 2022. № 4(1). С. 34-43. https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i1.s130.

14. Спиричев В.Б., Трихина В.В. Биохимическая характеристика эссенциальных нутриентов как научная основа для определения функциональных свойств специализированных продуктов и механизмов их действия на обменные процессы // Человек. Спорт. Медицина. 2017. № 17(2). С. 5-19.

15. Олтиев А.Т., Хайдарова М.Ф. Совершенствование технологии производства сахарных полуфабрикатов из овощей выращенных на территории Узбекистана // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2024. № 3(120).

16. ГОСТ 31459-2012. Цукаты. Технические условия // Минск: Стандартинформ. 2012. 28 с.

17. Пріcс О.П., Сердюк М.Є., Жукова В.Ф. Сухаренко О.І., Коляденко В.В. Гарбузові цукати – ласощі з функціональними властивостями // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2020. № 2 (4). С. 119-125. doi:10.20998/2413-4295.2020.02.15.

18. Приманченко Д.П., Лопаева Н.Л. Способы производства цукатов // Молодежь и наука. 2023. № 6.

19. Райхель Н.З., Алексеева Н.В., Джайшибеков Г.З., Кайпова Ж.Н. Способы производства цукатов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 2. С.168-171.

20. Павлов Л. В., Голубкина Н. А., Шило Л. М., Баранова Е. В., Химич Г. А. Цукаты из тыквы, технология их приготовления и стандарт // Овощи России. 2017. № 1. С. 39-41. doi: 10.18619/2072-9146-2017-1-39-41.

21. Minocha R., Martinez G., Lyons B., Long S. Development of a standardized methodology for quantifying total chlorophyll and carotenoids from foliage of hardwood and conifer tree species // Canadian journal of forest research. 2009. № 39 (4). P. 849-861.

22. Пріcс О.П., Євлаш В.В., Жукова В.Ф., Кюрчев С.В. Вплив абіотичних факторів на інтенсивність дихання плодових овочів впродовж зберігання // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2017. № 6/11(90). С. 27-34.

23. Доля Ю.А. Влияние абиотических факторов весенне-летнего периода на формирование хозяйственно ценных признаков у сортов черешни (CERASUS AVIUM L.) в условиях юга России [Электронный ресурс] // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2024. № 88(4). С. 1-9. DOI: 10.30679/2219-5335-2024-4-88-1-9.

24. Роева Т.А. Минеральное питание как фактор продуктивности и качества плодов вишни, черешни // Современное садоводство. 2018. № 2 (26). С. 48-69. doi: 10.24411/2312-6701-2018-10208.

25. Яшин А.Я., Веденин А.Н., Яшин Я.И., Василевич Н.И. Профилактика онкологических заболеваний пищевыми продуктами, содержащими

противоканцерогенные природные антиоксиданты // Лаб. и производство. 2019. № 6. С.52-62.

26. Колдаев В.М. Лечебно-профилактические эффекты хлорофиллов при наиболее угрожающих патологических состояниях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2025. №5. С. 25-29.

27. Отаханов Ш.Ш., Нишанов У.Р., Атаханов Ш.Н., Мамаджанов Л., Муминов У.О., Акрамбоев Р.А. Цукаты из овощей: технология их приготовления и стандарт // Universum: технические науки. 2022. №11(104). С. 52-56.

28. Bermejo A., Llosá M. J., Cano A. Analysis of bioactive compounds in seven citrus cultivars. Food Science and Technology International. 2011. № 17(1). P. 55-62. doi: 10.1177/1082013210368556.

29. Паштецкий В.С., Невкрытая Н. Использование эфирных масел в медицине, ароматерапии, ветеринарии и растениеводстве (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 1(13). С. 18-40. DOI: 10.25637/TVAN2018.01.02.

30. Гинс М.С., Харченко В.А., Гинс В.К., Байков А.А., Кононков П.Ф., Ушакова И.Т. Антиоксидантные характеристики зеленных и пряно-ароматических культур // Овощи России. 2014. № (2). С. 42-45. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2014-2-42-45

31. Сачивко Т.В. Антиоксидантная активность новых сортов пряно-ароматических и эфирно-масличных культур // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. 2023. Т. 61. № 4. С. 282-290. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-282-290.

Информация об авторах

В. Ф. Жукова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры гостиничной и ресторанной деятельности Мелитопольского государственного университета.

Т. В. Карман – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой гостиничной и ресторанной деятельности Мелитопольского государственного университета.

М. Н. Адонина – ассистент кафедры гостиничной и ресторанной деятельности Мелитопольского государственного университета.

К. А. Вакасова – ассистент кафедры гостиничной и ресторанной деятельности Мелитопольского государственного университета.

REFERENCES

1. Rodionova, L.A. & Kopnova, E.D. (2017). Statistical analysis of characteristics of balanced nutrition of population in Russia. *Voprosy statistiki*, (7), 28–40. (In Russ.).

2. Shevkun, I.G., Yanovskaya, G.V., Novikova, I.I., Gavrish, S.M. & Shepeleva, O.A. (2022). Healthy nutrition of children is a national task of state policy in the field of education and the basis for the prevention of health disorders // *Human Science: Humanitarian Research*, (16(3)), 169–175. doi: 10.57015/issn1998-5320.2022.16.3.17. (In Russ.).

3. Korogodina, E.A. (2018). The market of healthy nutrition: prospects for development. *Regional Bulletin, (*5(14)), 6–8. (In Russ.).

4. Xorkina, N.A., Chetaeva, K.G. & Shpeko, A.D. (2024). Public policy of healthy eating: Evidence from the world experience. *Public Administration Issues,* (2), 183–210. (In Russ.). doi: 10.17323/1999-5431-2024-0-2-183-210.

5. Rogozhnikova E.P., Vy`sokos, Ya.R., Gashenko, V.I. & Kazakova, A.A. (2024). Dietary fiber is a key aspect of a healthy diet. *Journal Polyclinic*, (4(3)), 78–80. (In Russ.).

6. FAO. (2023). The year is 2023. Overview of the fruit and vegetable sector of the member States of the Eurasian Economic Union. Budapest. https://doi.org/10.4060/cc4267en. Retrieved from https://eec.eaeunion.org/comission/department/dep_agroprom/chuvstvit-to-var/Обзор %20плодоовощного %20сектора %20April %202023 %20Rus.pdf. (In Russ.).

7. Alexina, E.M. & Dolya, Yu.A. (2012). The selective improvement of the cherry and cherry variety is the basis for increasing their production in the Southern region. *Achievements of science and technology of agriculture*, (2), 40–42. (In Russ.).

8. Turovceva, N.N., Pyurko, O.E., Vasin, V.A. & Pisanecz, Z.G. (2015). Cherry varieties of the Melitopol Experimental Horticulture Station named after M.F. Sidorenko of the Institute of Horticulture of the National Academy of Sciences. *National Association of Scientists*, (2-4(7)), 151–153. (In Russ.).

9. Alibekov, R.S., Yerkebayeva, S.U., Gabrilyants, E.A. & Shingisov, A.U. (2022). The total content of polyphenols and flavonoids in cherry varieties of Kazakhstan selection. *Agrarian science*, (10), 128–131. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-128-131

10. Basanta, M.F., Escalada Pla, M.F., Raffo, M.D., Stortz, C.A. & Rojas, A.M. (2014). Cherry Fibers Isolated from Harvest Residues as Valuable Dietary Fiber and Functional Food Ingredients. *Journal of Food Engineering*, (126), 149–155, doi: 10.1016/J.JFOODENG.2013.11.010.

11. Golubtsova, J. (2017). Commodity Characteristics and Quality Assessment of Fruit and Berry Raw Materials and Products of Processing Thereof. *J. Pharm. Sci. & Res,* (9(7)), 1091–1098.

12. Kolbas, N.Yu., Kolbas, A.P., Domas`, A.S. & Prvulovich, D. (2020). Assessment of biochemical and tasting parameters of fruits of Prunus cerasus L. *Journal of the Belarusian State University. Biology*, (2), 49–57. (In Russ.). https://doi.org/10.33581/2521-1722-2020-2-49-57

13. Gusejnova, B.M., Abdulgamidov, M.D. & Musaeva, R.T. (2022). Пищевая ценность интродуцированных сортов черешни, выращиваемых в условиях предгорной плодовой зоны Дагестана. *Health, Food & Biotechnology*, (4(1)), 34–43. (In Russ.). https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i1.s130.

14. Spirichev, V.B. & Trixina, V.V. (2017). Biochemical characterization of essential nutrients as a scientific basis for determining the functional properties of specialized products and the mechanisms of their action on metabolic processes. *Human. Sport. Medicine*, (17(2)), 5–19. (In Russ.).

15. Oltiev, A.T. & Xajdarova, M.F. (2024). Improving the technology of production of semi-finished sugar products from vegetables grown in Uzbekistan. *Universum: Technical Sciences : an electronic scientific journal,* 3(120). Retrieved from https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17050.

16. Candied fruits. Technical specifications. (2012). HOST 31459–2012. Minsk: Standards Publishing House, 28. (In Russ.).

17. Priss, O.P., Serdyuk, M.E., Zhukova, V.F., Suxarenko, O.I. & Kolyadenko, V.V. (2020). Candied pumpkin is a treat with functional properties. *Bulletin of the National Technical University «KHPI». Series: new solutions in modern technologies. Kharkiv: NTU «KHPI», (*2(4)), 119–125. (In Russ.). doi:10.20998/2413-4295.2020.02.15.

18. Primanchenko, D.P., Lopaeva, N.L. & Primanchenko, D.P. (2023). Methods of candied fruit production. Youth and science, (6). (In Russ.).

19. Rajxel`, N.Z., Alekseeva, N.V., Dzhajshibekov, G.Z., Kajpova, Zh.N. (2017). Methods of candied fruit production. *International Journal of Applied and Fundamental Research,* (2), 168-171.

20. Pavlov, L.V., Golubkina, N.A., Shilo, L.M., Baranova, E.V., Ximich, G.A. (2017). Candied pumpkin fruits, their cooking technology and standard. *Vegetables of Russia*, (1), 39–41. (In Russ.). doi: 10.18619/2072-9146-2017-1-39-41.

21. Minocha, R., Martinez, G., Lyons, B., Long, S. (2009). Development of a standardized methodology for quantifying total chlorophyll and carotenoids from foliage of hardwood and conifer tree species. *Canadian journal of forest research,* (39(4)), 849–861.

22. Priss, O.P. Evlash V.V., Zhukova V.F., Kyurchev S.V., Verxolanceva V.O., Kalugina I.M., Kolesnichenko S.L., Salavelis A.D., Zolovska O.V., Bandurenko G.N. (2017). Influence of abiotic factors on the intensity of respiration of fruit vegetables during storage. *East European Journal of Advanced Technologies*, (6(90)), 27–34. (In Russ.).

23. Dolya, Yu.A. (2024). The influence of abiotic factors of the spring-summer period on the formation of economically valuable traits in cherry varieties (CERASUS AVIUM L.) in the conditions of the South of Russia. *Fruit growing and viticulture in the South of Russia*, (88(4)), 1–9. doi: 10.30679/2219-5335-2024-4-88-1-9. (In Russ.).

24. Roeva, T.A. (2018). Mineral nutrition as a factor of productivity and quality of cherry and sweet cherry fruits. *Contemporary horticulture*, (2(26)), 48–69. (In Russ.). doi: 10.24411/2312-6701-2018-10208.

25. Yashin, A.Ya., Vedenin, A.N., Yashin, Ya.I., Vasilevich, N.I. (2019). Prevention of oncological diseases with food products containing anti-carcinogenic natural antioxidants. *Laboratory and production*, (6), 52–62. (In Russ.).

26. Koldaev, V.M. (2025). Therapeutic and prophylactic effects of chlorophylls in the most threatening pathological conditions. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, (5), 25–29. (In Russ.).

27. Otaxanov, Sh.Sh., Nishanov, U.R., Ataxanov, Sh.N., Mamadzhanov, L., Muminov, U.O., Akramboev, R.A. (2022). Candied vegetables: technology of their preparation and standard. *Universum: technical sciences*, (11(104), 52–56. (In Russ.).

28. Bermejo, A., Llosá, M.J., Cano, A. (2011). Analysis of bioactive compounds in seven citrus cultivars. Food Science and Technology International. (17(1)), 55–62. doi: 10.1177/1082013210368556.

29. Pashteczkij, V.S., Nevkry`taya, N. (2018). The use of essential oils in medicine, aromatherapy, veterinary medicine and crop production (review). Tavrichesky Bulletin of Agrarian Science, 1(13), 18–40. (In Russ.). DOI: 10.25637/TVAN2018.01.02

30. Gins, M.S., Xarchenko, V.A., Gins, V.K., Bajkov, A.A., Kononkov, P.F., Ushakova, I.T. (2014). Antioxidant characteristics of green and spicy-aromatic crops. *Vegetables of Russia,* (2), 42–45. (In Russ.). https://doi.org/10.18619/2072-9146-2014-2-42-45

31. Sachivko, T.V. (2023). Antioxidant activity of new varieties of aromatic and essential oil crops. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Agricultural Sciences Series*. (61(4), 282–290. (In Russ.). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-282-290.

Information about the authors

V. F. Zhukova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Hotel and Restaurant Activities of Melitopol State University.

T. V. Karman – Candidate of Economics, Associate Professor, Head of the Department of Hotel and Restaurant Activities of Melitopol State University.

M. N. Adonina – Assistant of the Department of Hotel and Restaurant Activities of Melitopol State University university.

K. A. Vakasova – Assistant of the Department of Hotel and Restaurant Activities of Melitopol State University university.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 101–113.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 101–113.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.785:641.56:664.68
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.016 EDN: EVBFCK

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ОВСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАЗРАБОТКЕ ДИЕТИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Наталья Ивановна Степаненко [1], Алексей Геннадьевич Липшин [2]

[1, 2] Красноярский научно–исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Красноярский научный центр Сибирского Отделения Российской Академии Наук», г. Красноярск, Россия
[1] natashalovcova@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-5958-1254
[2] alipshin@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0536-3452

Аннотация. *В статье рассматривается комплексное исследование стабильности производства зерна овса на мировом и российском уровнях. Оригинальность работы обусловлена количественной оценке стабильности производства на российском и мировом рынках с помощью эконометрического моделирования, опирающегося на статистические данные за 30–летний период. Цель – анализ данных производства на мировом и российском рынках. Был проведён статистический анализ производительности зерна овса на мировом уровне и в Российской Федерации. В результате исследования было выявлено, что, согласно официальным данным FAOSTAT, Европа показала наивысшие показатели производительности зерна овса, которые составили 60,46 % от мирового объёма. Лидирующей страной в производстве овса является Канада и на 2024 год валовый сбор составил 3360 тысяч тонн. В России наибольший валовый сбор зерна овса получил Сибирский федеральный округ и в среднем за пять лет составил 14420,8 тысяч центнеров. Также были выявлены пять ведущих регионов: Алтайский край – 13,6 %; Красноярский край – 7,1 %; Тюменская область – 5,7 %, Республика Башкортостан – 5,1 %; Новосибирская область – 4,1 %; из долевого расчёта. Оптовая цена в 2024 года на зерно овса повысилась на 19,4 % по сравнению с прошлым годом. Цена на продукты переработки зерна овса формируется в зависимости от назначения конечного продукта. Результаты прогнозного моделирования продемонстрировали устойчивый рост производства овса, что создаёт благоприятные условия для масштабирования его переработки в диетическое продукты питания. Сочетание стабильных объёмов сырья с высоким содержанием биологически активных веществ (β–глюкан, пищевые волокна) делает овёс стратегически значимой культурой для развития сектора здорового питания.*

Ключевые слова: *овес, пищевая ценность, диетическое питание, производительность, урожайность, валовой сбор, посевные площади.*

Благодарности: *Авторы выражают признательность Федеральной государственной службе статистике РФ и FAOCTAT за предоставление данных, а также рецензентам за ценные замечания, способствующие улучшению качества статьи.*

Для цитирования: Степаненко Н. И., Липшин А. Г. Исследование стабильности производства овса для оценки потенциала использования в разработке диетических продуктов питания // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 101–113. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.016. EDN: https://elibrary.ru/EVBFCK.

Original article

STUDY OF STABILITY OF OAT PRODUCTION TO ASSESS POTENTIAL FOR USE IN DEVELOPMENT OF DIETARY FOODS

Natalia I. Stepanenko [1], Alexey G. Lipshin [2]

[1, 2] Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture is a separate division of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center Siberian Branchof the Russian AcademySciences", Krasnoyarsk, Russia
[1] natashalovcova@mail.ru, https://orcid.org/0009-0005-5958-1254
[2] alipshin@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0536-3452

Abstract. *In the article considers a comprehensive study of the stability of oat grain production at the global and Russian levels. The originality of the work is due to the quantitative assessment of the stability of production in the Russian and global markets using econometric modeling based on statistical data for a 30–year period. The goal is to analyze production data on the global and Russian markets. A statistical analysis of the productivity of oat grain at the global level and in the Russian Federation was carried out. As a result of the study, it was revealed that, according to official FAOSTAT data, Europe showed the highest indicators of oat grain productivity, which amounted to 60.46 % of the world volume. Canada is the leading country in the production of oats, and in 2024 the gross harvest amounted to 3,360 thousand tons.*

© Степаненко Н. И., Липшин А. Г., 2026

In Russia, the Siberian Federal District received the largest gross harvest of oat grain and averaged 14,420.8 thousand quintals over five years. Five leading regions were also identified: Altai Territory – 13.6 %; Krasnoyarsk Territory – 7.1 %; Tyumen Region – 5.7 %, Republic of Bashkortostan – 5.1 %; Novosibirsk region – 4.1 %; based on a shared calculation. In 2024, the wholesale price of oat grain increased by 19.4 % compared to last year. The price of oat grain processing products is formed depending on the purpose of the final product. The results of predictive modeling have demonstrated a steady increase in oat production, which creates favorable conditions for scaling up its processing into dietary food. The combination of stable volumes of raw materials with a high content of biologically active substances (beta–glucan, dietary fiber) makes oats a strategically important crop for the development of the healthy nutrition sector.

Keywords: *oats, nutritional value, dietary nutrition, productivity, yield, gross harvest, acreage.*

Acknowledgements*: The authors would like to thank the Federal State Statistics Service of the Russian Federation and FAOCTAT for providing the data, as well as the reviewers for their valuable comments that help improve the quality of the article.*

For citation: Stepanenko N. I. & Lipshin A. G. (2026). Study of stability of oat production to assess potential for use in development of dietary foods. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 101-113. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.016. EDN: https: //elibrary.ru/EVBFCK.

ВВЕДЕНИЕ

Знаменитый лексикограф доктор Сэмюэл Джонсон в восемнадцатом веке сказал об овсе: «Это зерно в Англии дают лошадям, но в Шотландии оно помогает людям». В некоторых частях Северной Европы овёс был наиважнейшим продуктом питания, но в современности он используется в основном для кормления лошадей. Однако в северных странах Европы он попрежнему остаётся ключевым сырьём для пищевой промышленности, и интерес к этой культуре растёт благодаря его диетическим свойствам [1, 2].

Овёс имеет давнюю историю культивирования. Археологические находки свидетельствуют о том, что его семена присутствовали в египетских гробницах ещё около 2000 лет до нашей эры. В пищу человек стал его употреблять около тысячи лет до нашей эры, а до этого его применяли в качестве корма для домашнего скота. В литературе овёс начал встречаться как самостоятельная культура только в начале первого столетия нашей эры. Благодаря своей стойкости к холодному и влажному климату он стал в некоторых странах, таких как Англия, Шотландия, Ирландия, единственной культурой, способной расти в таких условиях [3]. В России овёс начал возделываться в шестом веке нашей эры в северо-западных районах Нечернозёмной зоне [4].

Овёс – это однолетнее растение семейства злаковых. Это ценная продовольственная и фуражная культура [5], занимающая пятое место по возделыванию в мире после пшеницы, риса, кукурузы и ячменя [6]. Овёс является зерновой культурой, относящийся к яровым хлебам I группы [7].

По ботаническим характеристикам овёс – это род Avena. Он включает в себя семьдесят видов, из которых на практике применяются лишь одиннадцать. Наибольшее распространение получил род Avena sativa, который может быть плёнчатым или голозёрным. Плёнчатые формы овса характеризуются большей урожайностью и поэтому занимают большие площади возделывания [8].

Овёс по химическому составу является уникальной культурой и обладает рядом лечебных свойств. Об этом свидетельствует доказательная база исследований, показывающая положительную динамику при употреблении овса при такие заболевания, как желудочно–кишечного тракта, а также при снижении уровня холестерина в крови [8, 9].

Установлено, что овёс демонстрирует вариабельность по содержанию белка, который составляет на 100 граммов сухого вещества от 9,03 % до 19,5 % в зависимости от сортовых характеристик и морфологической формы зерна (пленчатая или голозёрная) [10–12]. При этом биологическая ценность белка определяется аминокислотным составом. По имеющимся данным аминокислотного скора, лимитирующими аминокислотами являются лизин – 70 %; треонин – 83 % [13]. Зерно овса является источником клетчатки, β–глюканов, витаминов и минералов [14]. Оно характеризуется высоким содержанием фосфора и превосходит другие злаковые культуры по массовой доле жира, которая составляет 6,21 грамма на 100 граммов сухого вещества [9, 15, 16]. Содержащийся крахмал достигает 40 % зерновки овса, который находится в эндосперме в виде крахмальных зёрен [15]. Содержание тиамина в зерне овса превосходит другие злаковые культуры и составляет 0,48 миллиграмма на 100 граммов зерна [17]. Содержание β–глюкана в плёнчатых сортах варьирует от 3,1 до 4,5 %, у голозёрных – от 3,8 до 4,9 % [18].

При употреблении продуктов из зерна овса может повышать уровень серотонина, что связано с общими эффектами здорового питания [15]. Овсяные β–глюканы способствуют снижению уровня липопротеидов в крови и уменьшают гликемическую реакцию за счёт взаимодействия с другими углеводами. Кроме того, они обеспечивают длительное чувство насыщения организма, что может способствовать контролю массы тела.

Ещё одна важная особенность данной культуры – это наличие авенантрамидов (AVs), антиоксидантов, уникальных метаболитов, присущих преимущественно овсу. При этом в качестве пищевого источника антиоксидантной активности овёс и другие злаковые культуры в значительной степени игнорируются [19].

В результате исследования G. Soycan, et al. было выявлено, что 40–граммовых порциях из зерна овса (за исключением концентрата) содержится от 15,59 до 25,05 миллиграммов общего количества фенольных кислот (9,9–19,33 миллиграммов связанных и 4,96–5,72 свободных + конъюгированных) и от 1,1 до 2 миллиграммов авенантрамидов. В то же время одиннадцатиграммовая порция овсяного концентрата содержит 16,7 миллиграммов от общего количества фенольных кислот (15,17 миллиграммов связанных, 1,53 миллиграммов свободных + конъюгированных) и 1,2 миллиграммов авенантрамидов [20].

Авенантрамиды обладают рядам биологически активных свойств, включая противовоспалительные, антиатерогенные, антипролиферативные, противоопухолевые и противозудные. Это обуславливает потенциальную эффективность их использования при профилактике ишемической болезни сердца и рака [19]. В связи с доказательной базой зерно овса используют в медицине, косметологии и в пищевой промышленности. Пищевая ценность зерна овса зависит от сорта, района произрастания, условий уборки и хранения [15]. За антиоксидантную активность в зерне овса

отвечает феруловая кислота, которая снижает риск возникновения злокачественных опухолей. Фитиновая кислота также даёт антиоксидантный эффект, но ухудшает всасывание железа и цинка.

В редких случаях овёс может проявлять отрицательные свойства: обострение хронических заболеваний жёлчного пузыря, диспепсические расстройства, аллергические реакции. Эти эффекты наблюдаются при избыточном включении данной культуры в рацион. Аллергические реакции обусловлены содержанием в зерне овса авенина и прочих белков [21].

Исходя из вышесказанного, зерно овса можно включать в ежедневную диету в качестве функционального продукта и источника водорастворимых пищевых волокон (β–глюкан) и фенольных алкалоидов (авенантрамиды). Однако β–глюкан имеет отрицательные свойства: при его связывании с ионом железа происходит уменьшение его биологической доступности, что необходимо учитывать при недостатке железа в организме [18, 22].

В тоже время современные достижения селекции позволяют создавать сорта овса с оптимальным составом – с высоким содержанием β–глюканов [18] и минимизированным влиянием на усвоение железа [23]. Это открывает перспективы для безопасного и эффективного использования овса в диетическом питании, особенно при профилактике сердечно–сосудистых заболеваний [24] и метаболических нарушений [25].

Зерно овса имеет пищевое и фуражное значение. Основная доля зерна овса приходится на фуражное зерно – 99-98 % от валового сбора и лишь 1-2 % используется для пищевой переработки [15]. В России существуют традиционные способы переработки зерна овса (таблица 1): производство крупы овсяной недробленой, разной степени дробления, плющеной, хлопьев «Геркулес» и «Экстра» и толокно (табл. 1) [10, 26]. Кулинарные изделия: овсяный суп, овсяный кисель. Кондитерские изделия: овсяное печенье, овсяный кекс, вафли, галеты, в производстве спирта и спиртных напитков [10, 27]. В хлебопечении овсяная мука не используется в стопроцентном составе, а только в смеси с пшеничной хлебопекарной мукой, из-за низкого качества клейковины [7].

Таблица 1 – Нормы выхода продуктов при переработке зерна овса [10, 26]
Table 1 – Product yield rates during oat grain processing [10, 26]

Продукты переработки	Ассортимент, %			
	Недробленая крупа	Недробленая крупа и хлопья	Хлопья «Экстра»	Толокно
Крупа не дробленая	45,5	39,5	–	–
Хлопья	–	5,5	50,0	–
Толокно	–	–	–	52,0
Итого	45,5	45,0	50,0	52,0
Мучка и дроблёнка кормовая	15,5	16,0	13,0	9,5
Отходы 1–й и 2–й категории	2,8	2,8	1,3	1,3
Лузга	27,0	27,0	27,0	26,0
Мелкий овёс	5,0	5,0	5,0	5,0
Отходы 3–й категории и механические потери	0,7	0,7	0,7	0,7
Усушка	3,5	3,5	3,0	5,5
Всего	100	100	100	100

Анализ таблицы 1 показывает, что выход продуктов из зерна овса не превышает 52 %. Также наблюдается, что наиболее ценные пищевые вещества зерновки: пищевые волокна (целлюлоза, гемицеллюлоза, β–глюкан, пектин), а также зародыш с содержащимся в нём белками, незаменимыми кислотами, ненасыщенными жирными кислотами, минеральными веществами и витаминами – удаляются в отходы переработки зерна овса [19].

Для чёткого понимания потенциала производства пищевых продуктов из овса следует определить стабильность поставок зернового сырья на перерабатывающие производства. В связи с этим был проведён анализ статистических данных за тридцатилетний период по производству овса в России и в зарубежных странах.

Оригинальность исследования обусловлена подходом к оценке стабильности производства овса в Российской Федерации и на мировом рынке на основе 30–летних статистических данных с применением эконометрического моделирования. В отличии от традиционных подходов, ориентированных исключительно на анализе трендовых показателей, в работе была проведена верификация моделей на исторических данных, выполнен прогноз урожайности на среднесрочную перспективу с учётом изменчивости показателей по регионам России и странам–производителям. Таким образом, цель данного исследования заключается в анализе производства зерна овса на мировом уровне и в Российской Федерации.

МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования определена совокупность производственно–биологических показателей зерна овса, включающая урожайность, элементы структуры урожая, биохимический состав и технологические свойства.

Предметом исследования являются закономерности формирования урожайности зерна овса, динамика площадей возделывания и их влияние на объёмы производства.

Информационно-эмпирическая база исследования формировалась на основе официальных данных Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации и её территориальных подразделений, а также Организации Объединённых Наций (FAOSTAT – Food and Agriculture Organization Statistics). Методы исследования: абстрактно-логический, статистический, мета-анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Мировое потребление овса. Овёс является культурой, обладающей высокой устойчивости к повышенной влажностью и низким температурам, а также характеризующейся невысокой потребностью в плодородии

почвы [10; 28]. По данным Продовольственной сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (FAOSTAT), Европа занимает ведущее положение по производству овса (рисунок 1) [28].

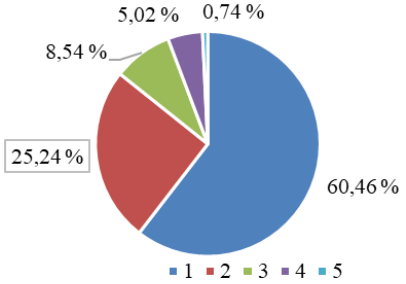


Рисунок 1 – Производство овса по регионам мира (поданным ФАО): 1. Европа; 2. Америка; 3. Океания; 4. Азия; 5. Африка [28]

Figure 1 – Oat production by region of the world (according to FAO): 1. Europe; 2. America; 3. Oceania; 4. Asia; 5. Africa [28]

Анализ рисунка 1 показывает, что Европа занимает лидирующее место по производству зерна овса и составляет 60,46 % мирового объема. Остальные страны имеют следующие доли: Америка – 25,24 %, Океания – 8,54 %, Азия – 5,02 % и Африка – 0,74 %. Такая тенденция обусловлена климатическими условиями выращивания, выделенными площадями для возделывания и экономическими возможностями отдельных стран.

Согласно данным FAOSTAT, за тридцатилетний период, (на 2021 год, более поздние данные отсутствуют) статистика свидетельствует, что в Европейском Союзе при экстенсивном подходе к сельскому хозяйству ожидается увеличение посевных площадей. Однако такой рост ограничен физическими размерами доступных земель, приведенных в таблице 2.

Более того, анализ данных из таблицы 2 показывает, что посевные площади под овёс в Европейском Союзе с 1992 по 2021 годы имеют тенденцию к снижению. С учётом данного фактора экстенсивный подход наращивания объёмов производства характеризуется низкой эффективностью и не соответствует стратегическим задачам устойчивого развития отрасли [28, 29, 30].

Таблица 2 – Основные показатели развития производства овса в Европейском союзе за 1992–2021 гг. [28, 29, 30]
Table 2 – Main indicators of the development of oat production in the European Union for 1992–2021 [28, 29, 30]

Год	Валовый сбор, млн. тонн	Площадь убранного урожая, млн. га	Урожайность, т/га	Абсолютное изменение к предыдущему году			Относительное изменение к предыдущему году, %		
				Валовый сбор, млн. тонн	Площадь убранного урожая, млн. га	Урожайности, т/га	Валовый сбор, млн. тонн	Площадь убранного урожая, млн. га	Урожайности, т/га
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1992	3,11	8,78	2,82	…	…	…	…	…	…
1993	3,17	11,07	3,49	0,06	2,29	0,67	***101,9***	***126,1***	***123,8***
1994	3,24	9,97	3,08	0,07	-1,10	-0,41	**102,2**	90,1	88,3
1995	2,89	8,6	2,98	-0,35	-1,37	-0,1	89,2	86,3	96,8
1996	3,01	10,71	3,56	0,12	2,11	0,58	***104,2***	***124,5***	***119,5***
1997	3,08	10,53	3,42	0,07	-0,18	-0,14	**102,3**	98,3	96,1
1998	2,96	9,84	3,32	-0,12	-0,69	-0,10	96,1	93,4	97,1
1999	3,02	9,69	3,21	0,06	-0,15	-0,11	**102,0**	98,5	96,7
2000	2,93	9,05	3,09	-0,09	-0,64	-0,12	97,0	93,4	96,3
2001	2,92	8,94	3,06	-0,01	-0,11	-0,03	99,7	98,8	99,0
2002	3,1	10,26	3,31	0,18	1,32	0,25	***106,2***	***114,8***	***108,2***
2003	3,04	9,12	2,99	-0,06	-1,14	-0,32	98,1	88,9	90,3
2004	2,78	10,61	3,81	-0,26	1,49	0,82	91,4	**116,3**	**127,4**
2005	2,78	8,61	3,1	0,00	-2,00	-0,71	**100,0**	81,1	81,4
2006	2,81	8,65	3,08	0,03	0,04	-0,02	**101,1**	**100,5**	99,4
2007	2,85	8,72	3,06	0,04	0,07	-0,02	**101,4**	**100,8**	99,4
2008	2,82	9,5	3,37	-0,03	0,78	0,31	98,9	**108,9**	**110,1**
2009	2,74	8,78	3,21	-0,08	-0,72	-0,16	97,2	92,4	95,3
2010	2,58	7,9	3,07	-0,16	-0,88	-0,14	94,2	90,0	95,6
2011	2,56	8,24	3,22	-0,02	0,34	0,15	99,2	**104,3**	**104,9**
2012	2,51	8,71	3,35	-0,05	0,47	0,13	98,0	**105,7**	**104,0**
2013	2,45	8,37	3,42	-0,06	-0,34	0,07	97,6	96,1	**102,1**
2014	2,36	8,32	3,52	-0,09	-0,05	0,10	96,3	99,4	**102,9**
2015	2,41	8,16	3,39	0,05	-0,16	-0,13	**102,1**	98,1	96,3
2016	2,41	8,66	3,59	0,00	0,50	0,20	***100,0***	***106,1***	***105,9***
2017	2,48	9,24	3,81	0,07	0,58	0,22	***102,9***	***106,7***	***106,1***
2018	2,56	8,05	3,15	0,08	-1,19	-0,66	**103,2**	87,1	82,7
2019	2,38	7,91	3,32	-0,18	-0,14	0,17	93,0	98,3	**105,4**
2020	2,56	9,49	3,71	0,18	1,58	0,39	***107,6***	***120,0***	***111,7***
2021	2,54	9,16	3,6	-0,02	-0,33	-0,11	99,2	96,5	97,0

По сравнению с экстенсивным подходом к развитию, интенсивный характеризуется отсутствием ограничений и сосредоточен на повышении производительности овса. В период с 1992 по 2001 год уровень производства демонстрировал колебания и в среднем имел следующую тенденцию: урожайность составляла 3,2 тонны с гектара; валовый сбор – 3,03 миллиона тонн; посевных площадей – 9,72 миллиона гектаров. При тенденции к снижению посевных площадей наблюдалось снижение валового сбора и урожайности. Исключением стали 1993–й и 1996–й годы, когда

было выделено больше посевных площадей для выращивания овса. Показатели в эти годы были следующими: в 1993 год: посевные площади – 11,07 миллиона гектаров; урожайность – 3,49 тонны с гектара; валовый сбор – 3,17 миллиона тонн. В 1996 году были следующие показатели: посевные площади – 10,71 миллиона гектаров; урожайность – 3,56 тонны с гектара; валовый сбор – 3,01 миллиона тонн.

Темпы роста урожайности в 1992–1993 годах составили 0,67 тонн на гектар, что соответствует увеличению на 24 %. Однако в последующие годы наблюдалось снижение урожайности либо её незначительный рост, который в среднем составил -0,14 % по отношению к предыдущему году. Если рассматривать каждый год с 1994 по 2001 год, то тенденция имеет следующий вид: -3 %, +20 %, -4 %, -3 %, -3 %, -4 %, -1 % соответственно по годам. В промежутке 2002–2011 годов данная тенденция изменилась. Урожайность проявила хаотичный характер, колеблясь по сравнению с предыдущим годом следующим образом: +8 %, -10 %, +27 %, -19 %, -1 %, -1 %, +10 %, -5 %, -4 %, +5 %. В период с 2012 по 2021 годы наблюдается следующая динамика: +4 %, +2 %, +3 %, -4 %, +6 %, -16 %, -5 %, +12 %, -3 %.

Рассмотренные ранее данные свидетельствуют о том, что на протяжении трёх десятилетий показатели урожайности овса отличались нестабильностью, что связано с множеством факторов: изменениями климатических условий, агрономическими практиками, а также экономическими и социальными преобразованиями в агропромышленном комплексе. Для реализации интенсивного подхода к развитию отрасли необходимо не только внедрить новые технологии, но и систематически работать над улучшением агрономических условий – таких как качество почвы, а также оптимизация сроков посева и сбора урожая [31].

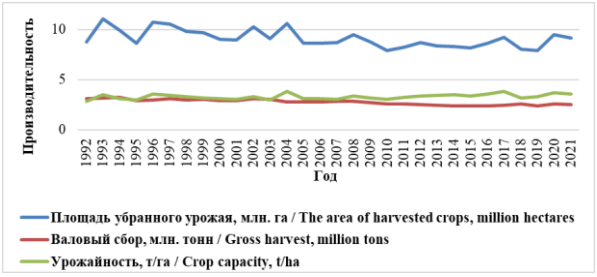


Рисунок 2 – Динамика производительности зерна овса в Европейском союзе 1992–2021 гг. [28, 29, 30]

Figure 2 – Dynamics of oat grain productivity in the European Union 1992-2021 [28, 29, 30]

Несмотря на положительные изменения в урожайности, наблюдаемые в период с 2002 по 2021 годы, которые представлены на рисунке 2, их общая нестабильность указывает на необходимость проведения более детального анализа стратегий с учётом возникающих рисков. Также стоит обратить внимание на последствия изменения климата, которые способны сильно повлиять на сельскохозяйственные культуры, включая овёс. Для повышения устойчивых показателей необходимо провести внедрения адаптивных агротехнологий, использование устойчивых к неблагоприятным условиям сорта, развивать системы метеорологического мониторинга, которые окажут неоценимую помощь производителям [28]. На рисунке 2 наглядно представлены производственные параметры производства овса.

Посевы овса в мировом масштабе постоянно сокращаются по сравнению с пшеницей и ячменём. Причинами низкой урожайности являются выращивание низкопродуктивных сортов и неадекватные агротехнологии [32].

Учитывая ранее изложенное, для достижения стабильного роста урожайности зерна овса необходимо сочетание интенсивных методов, инновационных технологий и адаптивного управления, что будет способствовать улучшению количественных показателей, тем самым обеспечив стабильную поставку сырья для пищевой отрасли.

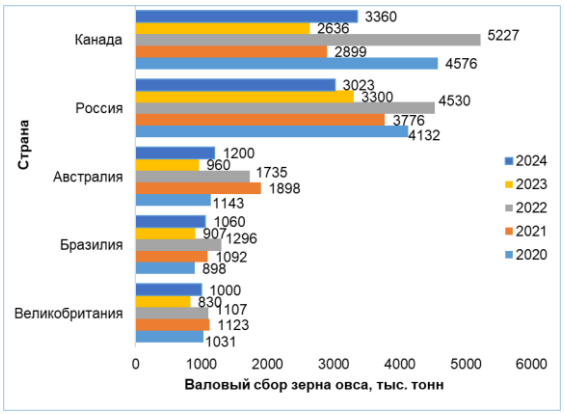


Рисунок 3 – Страны–лидеры по валовому сбору овса на 2021-2023 г., тыс. тонн (по данным FAO) [33, 34]

Figure 3 – The leading countries in terms of gross oat harvest for 2021-2023, thousand tons (according to the FAO) [33, 34]

Анализ мирового производства овса демонстрирует следующую динамику. По имеющимся данным, в 2023 году объёмы производства в России и Канаде снизились на 27,15 % и 49,51 % соответственно по сравнению с рекордным 2022 годом. Однако уже в 2024 году страны–лидеры начали наращивать темпы роста производства овса по сравнению с предыдущим годом и показали следующие результаты: в Канаде увеличилось на 22,55 %, в России произошёл спад на 9,16 % [32, 33, 34]. Согласно данным Statista, в период с 2023 по 2024 год мировой объём производства овса составлял приблизительно 19,5 миллиона метрических тонн и в 2023 году занял пятое место среди зерновых культур [34].

Имея линейное уравнение производительности овса для пяти лидирующих стран, можно спрогнозировать объём производства зерна овса на 2025 год. Согласно линейным уравнениям, при подстановке вместо «x» порядкового номера лет можно рассчитать ожидаемый объём производства в тысячах тонн для каждой страны. Результаты расчёта представлены в таблице 3.

Таблица 3. Прогнозирование производительности овса на 2025 год

Table 3. Forecast of oat productivity for 2025

Наименование страны	Линейное уравнение	R^2	Количество лет	Расчёт	Прогноз, тыс. т
Канада	y = -269,5x + 4548,1	0,1458	5	y = -269,5 * 5 + 4548,1	3200,6
Россия	y = -269,4x + 4560,4	0,4884	5	y = -269,4 * 5 +4560,4	3213,4
Австралия	y = -82,4x + 1634,4	0,1030	5	y = -82,4 * 5 + 1634,4	1222,4
Бразилия	y = 13,9 + 1008,9	0,0182	5	y = 13,9 * 5 + 1008,9	1078,4
Великобритания	y = -35,5x + 1124,7	0,2300	5	y = -35,5 * 5 + 1124,7	947,2

Анализ таблицы 3 показывает, что в Канаде прогнозируется в 2025 году снижение производства овса на 4,74 % по сравнению с 2024 годом. В России, Австралии, Бразилии и Великобритании прогноз составил +6,30 %; +1,87 %; +1,74 %; -5,28 % соответственно. Максимальную положительную тенденцию прогноза демонстрирует Россия, затем следуют Австралия и Бразилия, тогда как в Великобритании ожидается наибольшее снижение. При учёте общей производительности этих стран прогноз на 2025 год показывает увеличение на 0,2 % по отношению к 2024 году несмотря на то, что в двух указанных странах прогнозируется снижение.

Приведенные оценки получены методом экстраполяции данных за предыдущие годы и отражают базовый сценарий при сохранении текущих тенденций производства. Их точность может зависит от ряда внешних факторов, не учтённых в модели, таких как погодные условия, изменения спроса на мировом рынке и меры государственного регулирования. Таким образом, расчёты позволяют выявить относительную динамику по странам и ключевые тренды, но не гарантируют точного соответствия фактическим показателям 2025 года.

Следующим этапом исследования производительности овса стала оценка динамики роста в Российской Федерации. По данным Федеральной службы государственной статистики (Росстата), за 33–летней период (1992–2024 годы) произошло снижение площадей сельскохозяйственных земель, отведённых под возделывание овса, – важного показателя для аграрной отрасли. Согласно информации, представленной на рисунке 4, в 1992 году посевные площади составляли 8,49 миллиона гектаров. К 2024 году этот показатель сократился до 1,68 миллиона гектаров, что на 80,21 % ниже уровня 1992 года.

Если сравнивать с предыдущем 2023 годом, сокращение полей составило 8,20 %. За пять лет понижение составило 30,58 %. За десятилетний период 2015–2024 годы –44,92 %, за двадцатилетний период 2005 – 2024 годы–49,55 %.

За последующие десять лет (2005–2014 гг.) посевные площади сократились на 2,1 % и в среднем составили 3,32 миллиона гектаров. В период с 2015 по 2024 годы посевные площади сократилась на 48,5 миллиона гектаров. Данная динамика вызывает беспокойство, поскольку она негативно влияет на продовольственную безопасность страны и состояние её экономики [35].

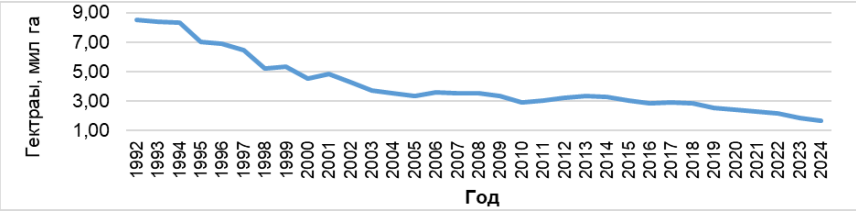


Рисунок 4 – Площадь убранного урожая, миллион гектар в Российской Федерации в 1992-2024 гг. (поданным Росстата) [35]

Figure 4 – The area of harvested crops, million hectares in the Russian Federation in 1992-2024 (according to Rosstat) [35]

Снижение сельскохозяйственных угодий, предназначенных для выращивания овса, наблюдалось ежегодно, причём темпы сокращения варьировались от 1 % до 19 % по сравнению с предыдущими годами. Согласно Forbes, в Российской Федерации сокращение посевных полей связано со снижением использования овса в качестве фуражного зерна. На замену овса пришлось наиболее рентабельное сырьё такое как кукуруза и отходы масличного производства: жмыхи и шроты [36, 37, 38].

Несмотря на общую тенденцию к сокращению посевных площадей под овёс, в отдельные годы были зафиксированы периоды роста. Так, наблюдалось увеличения полей для выращивания овса в 1999, 2001, 2006, 2008, 2011, 2012, 2013, 2017 годах на 2,01 %, 7,73 %, 7,84 %, 0,38 %, 5,26 %, 6,63 %, 2,67 %, 0,94 % соответственно по сравнению с предыдущим годом. Это увеличение может быть обусловлено совершенствованием агрономической практики, а также изменениями рыночной ситуации, в частности, ростом спроса на овёс и повышением закупочных цен, что стимулировало производителей расширять посевные площади.

Поскольку овёс является важнейшей сельскохозяйственной культурой, снижение пашни способно привести к дефициту продуктов питания на основе овса и кормов для вскармливания животных, а также к росту цен на соответствующие продукты, что, в свою очередь, может негативно сказаться на благополучии населения.

Согласно прогнозной модели распределения сельскохозяйственных угодий, предназначенных для возделывания овса, прогнозная площадь на 2025 год была рассчитана по формуле тренда: $y = -0{,}1788x + 7{,}1276$ при $R^2 = 0{,}818$. При «x» = 33 (порядковый номер года относительно базового периода) расчёт дал $y = -0{,}1788 * 33 + 7{,}1276$ и составило по линейному уравнению 1,23 миллиона гектар, что указывает на уменьшение посевных площадей на 27,07 % по сравнению с предыдущим годом. Расчёт выполнен в рамках линейной модели и носит прогнозный характер. Его точность может зависеть от внешних факторов, ранее упомянутых в анализе.

Однако стоит рассмотреть урожайность и валовые сборы овса в эти годы. Урожайность и валовые сборы в Российской Федерации имели колебательный характер (рис. 5). На рисунке 5 представлено производство зерна овса в России за период с 1992 по 2024 годы, где отображены два ключевых показателя: валовый сбор и урожайность. Данные были собраны в официальных источниках, таких как Росстат и Организация Объединённых Наций по продовольствию и сельскому хозяйству (FAO) [28, 39, 40]. Необходимо отметить, что урожайность овса была подвержена значительным колебаниям в зависимости от погодных условий, а именно от уровня влаги в почве, который имеет критическое значение для роста и развития растения [41, 42].

Анализ рисунка 5 показывает, что валовый сбор зерна овса в 1992 году составлял 11,24 тысячи тонн. Однако уже к 2024 году этот показатель резко сократился до 3,02 тысячи тонн, что соответствует снижению на 73,13 % относительно уровня 1992 года. Основной причиной данного явления остаётся сокращение посевных угодий, как уже было представлено ра-

нее на рисунке 4. Несмотря на это, наблюдалась положительная динамика урожайности, которая увеличилась на 43,94 % по сравнению с 1992 годом и в среднем составляла за тридцати трёхлетний период 15,97 центнеров с гектара. Этот факт подчёркивает важность агрономических практик и технологий, используемых в сельскохозяйственном производстве.

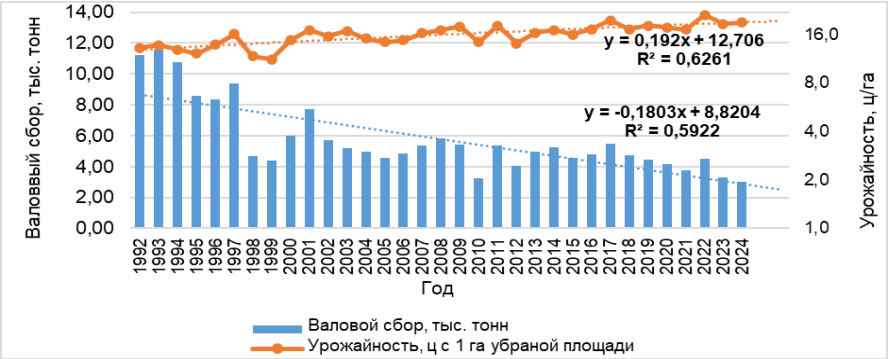


Рисунок 5 – Статистика урожайности и валовых сборов овса в Российской Федерации 1992–2024 гг. (поданным Росстата и OON FAO) [41, 42]

Figure 5 – Statistics of oat yields and gross harvests in the Russian Federation 1992-2024 (according to Rosstat and OON FAO)[41, 42]

За исследуемые тридцать лет потребление овса сократилось. Для более точного понимания динамики спроса на овёс стоит рассмотреть среднегодовой объём внутреннего потребления овса без учёта потерь при хранении и транспортировке, взяв за расчёт периоды по пять лет. В первом пятилетнем периоде, с 1995 по 1999 год, среднегодовое потребление составило 6,18535 миллионов тонн овса. Во втором пятилетнем периоде, с 2000 по 2004 год, этот показатель снизился до 5,90192 миллионов тонн, в третьем пятилетнем периоде, с 2005 по 2009 год, снизился до 4,05846 миллионов тонн. В четвертом пятилетнем периоде, с 2010 по 2014 год, отмечено повышение до 4,56728 миллионов тонн, в пятом пятилетнем периоде, с 2015 по 2019 год, зафиксирован рост до 5,60717 миллионов тонн, а в шестом пятилетнем периоде, с 2020 по 2024 год, снова произошло снижение до 3,75282 миллионов тонн.

Для более глубокого анализа производительности овса в Российской Федерации произведён сравнительный анализ по федеральным округам страны. В России восемь федеральных округов: Центральный, Северо–Западный, Южный, Северо–Кавказский, Приволжский, Уральский, Сибирский, Дальневосточный. Каждый из них характеризуется своими показателями посевных площадей, урожайности и валового сбора, что обусловлено различиями в климатических условиях, количестве осадков и качестве почв. Валовые сборы по федеральным округам представлены на рисунке 6, что позволяет детально оценить географическое распределение производства овса [43].

Рисунок 6 демонстрирует значительные колебания валового сбора зерна овса по федеральным округам Российской Федерации в период 2020–2024 гг. Размах колебаний между минимальными и максимальными значениями в отдельных округах достигал 40–60 %, а в целом по стране составлял от 35678 тысяч центнеров в 2024 году до 45118,0 тысяч центнеров в 2021 году.

Особое внимание заслуживает Сибирский федеральный округ, стабильно лидирующий по объёму валового сбора овса. В течение пятилетнего периода его показатели варьировались от 7641,8 тысяч центнеров (2024 г.) до 14842,0 тысяч центнеров (2020 г.), со среднегодовым объёмом 12421,3 тысяч центнеров. Это в 1,5–2,0 раза превышает показатели других крупных производителей, таких как Приволжский (9422,1–13711,6 тысяч центнеров) и Центральный (3893,0–6714,7 тысяч центнеров) федеральные округа. Такое доминирование Сибирского федерального округа обусловлено уникальными климатическими условиями и традициями земледелия, сложившимися в этом регионе.

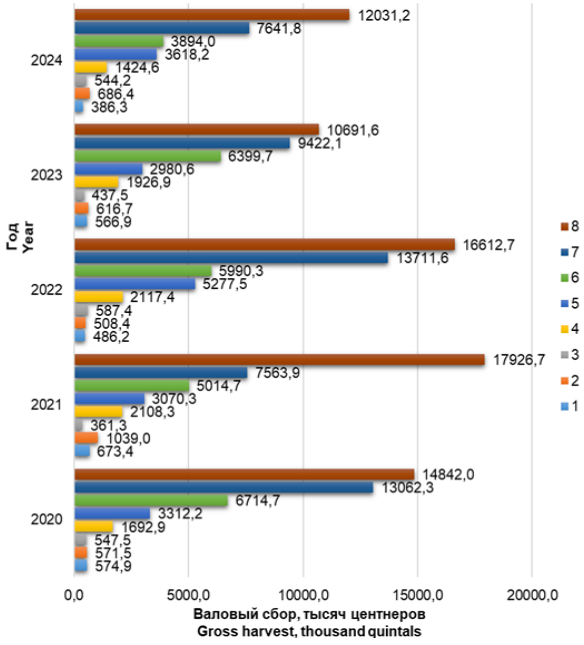


Рисунок 6 – Валовой сбор овса в Российской Федерации по годам, тысяч центнеров (по данным Росстата). 1 – Южный федеральный округ; 2 – Северо–Кавказский федеральный округ; 3 – Северо-Западный федеральный округ; 4 – Дальневосточный федеральный округ; 5 – Уральский федеральный округ; 6 – Центральный федеральный округ; 7 – Приволжский федеральный округ; 8 – Сибирский федеральный округ [43]

Figure 6 – Gross harvest of oats in the Russian Federation by year, thousand quintals (according to Rosstat). 1 – Southern Federal District; 2 – North Caucasian Federal District; 3 – Northwestern Federal District; 4 – Far Eastern Federal District; 5 – Ural Federal District; 6 – Central Federal District; 7 – Volga Federal District; 8 – Siberian Federal District [43]

Дальневосточный и Уральский федеральные округа также демонстрировали значительные колебания валового сбора овса: в Дальневосточном федеральном округе валовый сбор колебался от 1424,6 до 2117,4 тысяч центнеров, в Уральском федеральном округе – от 2980,6 до 5277,5 тысяч центнеров за тот же период.

В связи с ранее сказанным необходимо рассмотреть регионы России, которые занимают первые места по производству овса. К ним относятся такие регионы, как: Алтайский край, Красноярский край, Тюменская область, Новосибирская область, Омская область, Иркутская область, Кемеровская область и Республика Башкортостан. Большинство этих регионов расположены в Сибирском федеральном округе за исключением Республики Башкортостан (входит в Приволжский федеральный округ) и Тюменская область (входит в Уральский федеральный округ). Климатические условия в Республике Башкортостан приблизительно идентичны Сибири – с малым количеством тепла с континентальным климатом, что является приемлемыми условиями для выращивания овса.

По состоянию на 2024 год Алтайский край занимает первое место и выступил как лидер по производительности овса с показателем 13,6 % долевого расчёта от общего объёма валового сбора РФ. За ним следовал Красноярский край с 7,08 %, затем Тюменская область, производящая 5,86 % от общего объёма. Республика Башкортостан и Новосибирская область заняли четвёртое и пятое места с показателями долей, равными 5,13 % и 4,08 % соответственно. Омская и Иркутский области заняли шестое и седьмое места, и их показатели были равны 4,52 % и 3,66 % соответственно. Замыкала список, лидирующих производителей овса, Кемеровская область с долей 3,65 %. Все эти регионы и их данные в тысячах тонн представлены на рисунке 7.

Анализ этих данных позволяет сделать вывод о региональной направленности и значении каждого из перечисленных субъектов Российской Федерации в производстве овса, что имеет ключевое значение в продовольственной безопасности страны и экономической доступности обеспечения продовольственных потребностей населения, которые описаны в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ от 21 января 2020 года № 20 [43, 44].

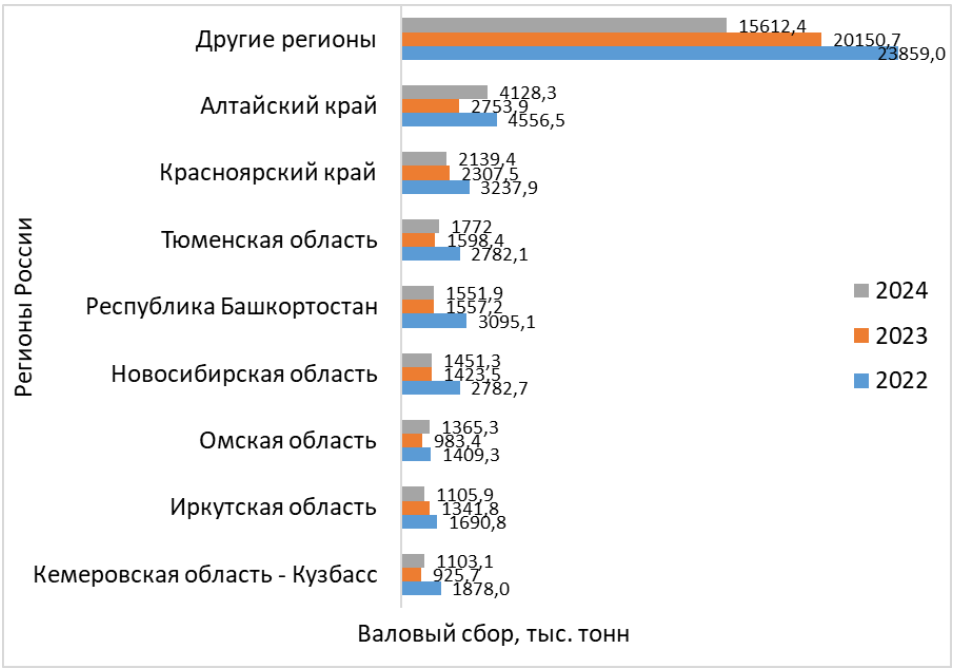


Рисунок 7 – Производительность зерна овса в регионах России в 2022-2024 гг., тыс. центнеров (поданным Росстат) [43, 44]

Figure 7 – Productivity of oat grain in the regions of Russia in 2022-2024, thousand quintals (according to Rosstat) [43, 44]

Анализируя рисунок 7, видно, что в 2022 году наивысшую производительность овса демонстрировал Алтайский край – 4556,5 тысяч тонн (или 4,56 млн т). За ним следуют Красноярский край (3237,9 тысяч тонн или 3,24 млн т) и Республика Башкортостан (3095,1 тысяч тонн или 3,10 млн т). Новосибирская и Тюменские области также показали высокие результаты: 2782,7 тысяч тонн (или 2,78 млн т) и 2782,1 тысяч тонн (или 2,78 млн т) соответственно.

В последующие годы (2023–2024) объём производства снизился во всех регионах. Так, в Алтайском крае валовой сбор сократился до 2782,1 тысяч тонн (2,75 млн т) в 2023 году и вырос до 4128,3 тысяч тонн (4,13 млн т) в 2024 году. В Красноярском крае показатели снизились с 3237,9 тысяч тонн до 2139,4 тысяч тонн (3,24 – 2,14 млн тонн) за тот же период.

Наиболее заметное падение отмечено в группе «Другие регионы»: с 23859,00 тысяч тонн (23,86 млн т) в 2022 году до 15612,4 тысяч тонн (15,61 млн т) в 2024 году, что обусловлено с климатическими и экономическими факторами.

Следует отметить, что 2022 год характеризовался аномально тёплой погодой, особенно в северо–европейской части России, на севере Урала, в Сибири и Якутии. Среднегодовая температура по стране составила минус 1 °С, что несколько ниже климатической нормы для зимнего периода, а количество осадков достигло 497 мм (104 % от многолетней нормы). Данные о среднегодовых температурах и количестве осадков за период 2020–2024 гг. представлены в таблице 4 [45, 46].

Таблица 4 – Метеорологические особенности в России в период с 2020 по 2024 годы [45, 46].
Table 4 – Meteorological features in Russia in the period from 2020 to 2024 [45, 46]

Наименование показателя	Год				
	2020	2021	2022	2023	2024
Среднегодовое количество осадков, мм	486	487	497	496	420
Среднегодовая температура, °С	-1,76	-3,69	-2,91	-2,82	-0,10
Аномалия среднегодовой температуры (отклонение от среднего за 1991–2020), °С	+3,22	+1,35	+0,87	+0,99	+2,02

Поскольку овёс является одной из важных зерновых культур в питании человека и для ведения животноводства, важно отметить, что необходимо учитывать не только текущие показатели, но и прогнозы на будущее. Учитывая изменения климата, следует развивать устойчивость и стабильность урожая.

Для формирования производительности современных сортов овса советской и зарубежной селекции важную роль играет внесение удобрений с учётом исходного плодородия почвы. Как отмечают многие учёные, одним из эффективных методов повышения урожайности и качества продукции растениеводства является позитивная трансформация системы внесения удобрений. Такая система способна существенно улучшить поступление минеральных веществ к растениям, в особенности на критически важных стадиях развития [47].

Современные препараты на основе гуминовых и фульвокислот, получаемых из торфа и угля, продемонстрировали высокую эффективность в полевых условиях, в частности в сочетании с биодоступными макро- и микроэлементами [48]. Их применение позволяет снизить потери питательных веществ и повысить устойчивость растений к стрессовым факторам. В отличие от них мочевина – традиционный источник азота для роста растений – отличается высокой нестабильностью, что может приводить к потере азота и загрязнению окружающей среды [49]. Для минимизации этих рисков перспективно совместное использование мочевины с ингибиторами уреазы или в капсулированной форме. Установлено, что внесение удобрений существенно влияет на химический состав зерна, что имеет немаловажное значение для пищевой промышленности, особенно при производстве продукции функционального назначения [49].

Исследования G. Sajdiasheva и др. (2020) показали, что повышение урожайности овса сопровождается снижением содержания белка в зерне [50]. Это подчёркивает необходимость сбалансированного применения удобрений для достижения оптимального соотношения урожайности и качества продукции.

На следующем этапе исследования была проведена экономическая оценка производства зерна овса. Ценообразование на рынке овса формируется под влиянием ряда факторов: спроса и предложения, каналов реализации, сезонности продаж, уровня запасов зерна [51, 52]. В ведущих странах–производителях овса наблюдается значительный разброс цен на зерно, обусловленный различиями в качестве продукции, логистических издержках и экспортной политике. По данным официальной статистики (ФАО, Росстат, USDA), динамика цен на овёс отслеживается до 2023 года, которые представлены в таблице 5 [53, 54, 55, 56].

Таблица 5 – Оптовые цены на зерно овса стран экспортёров [53, 54, 55, 56]
Table 5 – Wholesale prices of oat grain from exporting countries [53, 54, 55, 56]

Страна экспортёр	Среднегодовая цена, доллар					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025 (март)
Канада	161,00	220,90	345,90	223,60	190,20	1020,00
Россия	118,00	145,90	154,40	104,84	132,22	530,00
Австралия	255,80	214,30	207,50	174,00	414,00	4825,00
Бразилия	132,20	177,20	220,90	202,03	180,00	180,00
Великобритания	168,10	193,50	265,10	248,40	330,00	2060,00

В период с января 2020 года по март 2025 года динамика цен на зерно овса характеризовалась существенными изменениями разного характера. Наивысшие цены за одну тонну зерна овса были зафиксированы в марте 2025 года, за исключением Бразилии, где цена осталась на уровне 180,00 долларов за тонну, что связано с особенностями внутреннего рынка и экспортной политикой страны.

Согласно официальным данным на 13 марта 2025 года, на Чикагской товарной бирже (CBOT) котировки зерна овса увеличились и достигли 359,50 центов за бушель [55], что способствовало росту оптовых цен в ряде стран–экспортёров, представленных в таблице 5.

Анализ среднегодовых цен на зерно овса по ключевым странам–экспортёрам (таблица 5) демонстрирует значительные колебания цен. В Канаде цены выросли с 161,00 доллара за тонну в 2020 году до 345,90 долларов за тонну в 2022 году, затем снижение цен до 190,20 долларов за тонну в 2024 году и резко выросли в марте 2025 года до 1020,00 долларов за тонну. В России отмечено постепенное увеличение цен с 118,00 долларов за тонну (2020 г.) до 154,40 долларов за тонну (2022 г.), последующее падение до 104,84 долларов за тонну (2023 г.) и восстановление до 530,00 доллара за тонну (март 2025 г.). В Австралии цены снизились с 255,80 долларов за тонну (2020 г.) до 174,00 долларов за тонну (2023г.), после чего наблюдаются резкий рост до 414,00 долларов за тонну и пик в 4825,00 долларов за тонну (март 2025 г.), что, вероятно, связано с сокращением предложения и высоким спросом. В Бразилии зафиксирована стабильная динамика в диапазоне 132,00–220,90 долларов за тонну с 2020 по 2022 год. Произошло снижение до 180,00 долларов за тонну к 2024 году. В марте 2025 года произошло сохранение этого уровня. В Великобритании отмечен устойчивый рост с 168,10 до 330,00 долларов за тонну в 2024 году. Пик пришёлся на март 2025 года и составил 2060,00 долларов за тонну, обусловленным увеличением логистических издержек и ростом спроса на органические продукты [57].

Исходя из вышеизложенного, стабильность цен на зерно овса и его доступность на рынке имеет ключевое значение в формировании ценообразования для перерабатывающих предприятий. При условии высокого качества производства и эффективного управления логистикой можно ожидать снижения цен на конечные продукты, что, в свою очередь, способствует улучшению доступности продовольствия для населения.

Развитие технологий переработки зерна овса и использование его в производстве специализированных продуктов открывают новые возможности для увеличения добавленной стоимости продукта. Для производства новых продуктов питания на основе овса применяются современные технологии переработки, такие как экструдирование [58], микронизация [59], гидротермическая обработка [60] и ферментация [61]. Эти методы обработки позволяют улучшить усвояемость питательных веществ, сохранить биологически активные компоненты, дать дополнительные свойства сырью и расширить ассортимент готовой продукции.

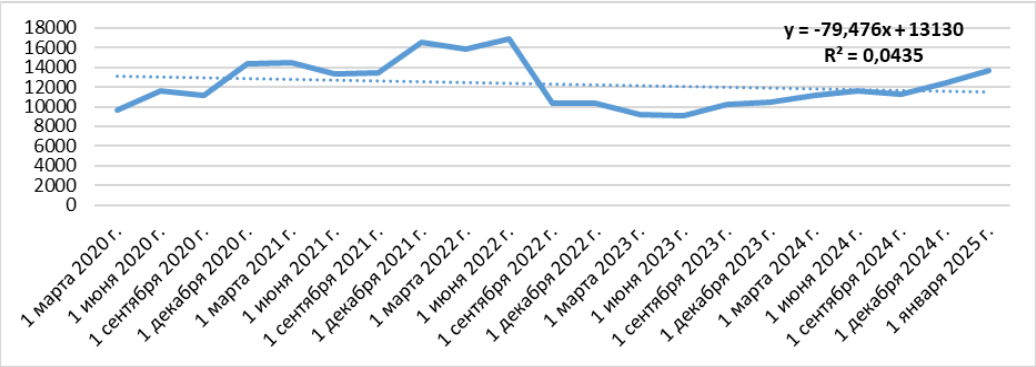


Рисунок 9 – Динамика цен зерна овса в период 2020–2025 года [57]

Figure 9 – Dynamics of oat grain prices in the period 2020-2025 [57]

Экструдирование применяется для производства зерновых хлопьев, снеков и текстурированных продуктов. Микронизация способствует улучшению усвояемости питательных веществ и снижению антипитательных факторов в сырье. Гидротермическая обработка обеспечивает стабилизацию сырья и повышение пищевой ценности конечного продукта. Ферментация позволяет обогатить продукции пробиотическими свойствами.

Это, в свою очередь, способствует увеличению объёмов производства функциональных продуктов питания, привлечению инвестиций и созданию новых рабочих мест, что является важным фактором для экономического роста страны.

ОБСУЖДЕНИЕ

Оригинальность работы заключается в комплексном анализе стабильности производства на мировом и российском уровнях. Цель исследования состоит в оценке динамики производства овса, выявлении ключевых тенденций и факторов, влияющих на урожайность и валовые сборы.

Результаты проведённого исследования свидетельствуют о значимой роли овса в мировом производстве, где в 2023 году культура занимает пятую позицию. При этом отмечается устойчивая тенденция к сокращению площадей возделывания. Однако по данным на 2021 год урожайность овса демонстрирует положительную динамику: за период 1992–2021 год показатель вырос на 28 %, несмотря на снижение посевных площадей на 18 %. Данный рост обусловлен внедрением современных агротехнологий, использованием высокопродуктивных сортов и оптимизацией применения минеральных удобрений, включая сбалансирование азотных, фосфорных и калиевых удобрение [62]. К числу ведущих стран–производителей овса относятся Канада, Россия, Австралия, Бразилия и Великобритания.

По данным исследования, в Российской Федерации зафиксировано сокращение площадей возделывания овса на 80 % за рассматриваемый период. При этом урожайность культуры повысилась на 43 % и достигла 19,00 центнеров с гектара. Однако валовые сборы продемонстрировали снижение на 73 %, что обусловлено существенным сокращением посевных площадей. Наибольший вклад в производство вносят Алтайский край, Красноярский край и Тюменская область, которые произвели более 1500 тысяч тонн (или 1,50 млн т) овса. Ценообразование на овсяное зерно определяется спросом, логистическими издержками и сезонными факторами как на российском, так и на мировом рынках.

Применение современных технологий переработки зерна, включая экструдирование и микронизацию, способствует расширению ассортимента специализированных пищевых продуктов благодаря их пищевой ценности и усвояемости. Развитие этого направления в масштабах отрасли приводит к наращиванию производственных мощностей, созданию дополнительных рабочих мест, снижению уровня безработицы и стимулирует социально–экономическое развитие регионов страны и на мировом рынке.

Однако, несмотря на высокую пищевую и биологическую ценность [63], его использование в производстве пищевых продуктов остаётся ограниченным. Это особенно заметно в перспективных сегментах питания, таких как специализированное, функциональное, диетическое и детское питание, где востребованы натуральные источники клетчатки, витаминов группы В и микроэлементов. Среди ключевых причин низкой востребованности следует выделить недостаточную осведомлённость потребителей, слабую маркетинговую поддержку продукта в качестве ингредиента и технологические сложности переработки зерна в высокоочищенные продукты.

Таким образом, выявленная недостаточная востребованность овса в производстве пищевых продуктов, несмотря на его высокую пищевую и биологическую ценность, требует комплексного решения. В качестве ключевых мер предлагается: активизация

научно–практических исследований по разработке новых рецептур и технологий переработки овса, развитие маркетинговых коммуникаций для повышения осведомлённости потребителей о пользе овсяных продуктов, государственная поддержка производителей, внедряющих инновационные технологии глубокой переработки овса, а также стимулирование кооперации между сельхозпроизводителями, переработчиками и ритейлерами для выстраивания эффективной цепочки создания стоимости конечного продукта, доходящего до потребителя. Реализация данных мер позволит раскрыть потенциал овса как ценной сельскохозяйственной культуры и обеспечит рост его доли в структуре здорового питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования было установлено, что овёс играет значительную роль в зерновом производстве. Стабильные объёмы производства овса обеспечивают сырьём перерабатывающие предприятия, формируя надёжную сырьевую базу для работы этой отрасли. Цены на овёс зависят от уровня спроса, транспортных расходов и сезонности.

Новые технологии переработки зерна овса открывают широкие возможности для создания специализированных продуктов питания и увеличения числа рабочих мест. Всё это будет способствовать экономическому росту страны.

Результаты исследования подтверждают стабильность поставок овса на перерабатывающие предприятия. Это гарантирует стабильность выпуска продуктов питания на основе овса, в том числе и специализированного направления.

Таким образом, взаимосвязь производительности овса и эффективности его пищевой переработки формирует устойчивую модель развития агропромышленного комплекса. Пищевая промышленность активно осваивает потенциал овса, внедряя инновационные технологии переработки и разрабатывая новые виды продукции. Овёс находит применение не только в традиционных категориях (крупы, хлопья), но и в производстве функциональных продуктов, диетического и детского питания, а также в качестве обогащенного ингредиента для хлебобулочных и кондитерских изделий.

Для производства новых продуктов питания применяются различные технологии переработки, включая экструдирование и другие современные методы, позволяющие повысить пищевую ценность и улучшить потребительские свойства готовой продукции. Расширение производства за счёт внедрения новых продуктов способствует созданию дополнительных рабочих мест, что положительно влияет на занятость населения и развитие агропромышленного комплекса страны. Такой подход способствует повышению пищевой ценности рациона населения, развитию сегмента здорового питания, укреплению продовольственной безопасности страны, созданию новых возможностей для взаимодействия сельхозпроизводителей и перерабатывающих предприятий.

В результате формируется замкнутый цикл развития: рост производительности стимулирует инвестиции в переработку, а инновации в переработке повышают экономическую привлекательность выращивания овса, укрепляя продовольственную безопасность страны.

Перспективными направлениями дальнейших исследований целесообразно сосредоточиться на оптимизации режимов обработки зерна овса – таких как термическая, механическая и ферментативная – для сохранения биологически активных веществ: антиоксидантов, β–глюканов и витаминов; изучении биохимических изменений и метаболических эффектов компонентов *in vitro* и *in vivo*. Также перспективным направлением является применение цифровых методов – математического моделирования рецептур, хемометрики и создания баз данных по биохимическому составу овса – в рамках междисциплинарного подхода (агрономия, биохимия, пищевая инженерия и нутрициология) для проектирования функциональных продуктов и укрепления позиций овса в структуре здорового питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Welch, R. W. (ed.). The oat crop: production and utilization. Springer Science & Business Media, 2012. 584 с.

2. Митрофанов, Р. Ю. Изучение химического состава водного экстракта соломы овса (AVENAsativaL.) и исследование его росторегулирующих свойств / Р. Ю. Митрофанов, В. Н. Золотухин, В. В. Будаева // Ползуновский вестник. 2010. № 4-1. С. 174-179. EDNSBINBN.

3. Овёс. Агростат. (электронный ресурс) / Кузбасская ГСХА // URL:https://kurl.ru/TQXmY (Дата обращения 7.11.2023).

4. Пыко, Т. Ю. Селекционные аспекты повышения продуктивности и качества овса в подтаёжной зоне Омского Прииртышья / Т. Ю. Пыко // автореф. дис. конд. с.-х. наук. Красноярск. 2022. С. 19.

5. Марченко, А. В. Значение культуры овса и оценка его целевого применения / А. В. Марченко // Московский экономический журнал. 2019. № 9. С. 703-707. DOI 10.24411/2413-046X-2019-19035.

6. ГлавАгроном. Инновации в технологии возделывания овса. / Раздолье (электронный ресурс). 2020. URL: https://glavagronom.ru/articles/innovacii-v-tehnologii-vozdelyvaniya-ovsa----razdole (Дата обращения 8.11.2023).

7. Овёс. Растениеводство. (электронный ресурс). 2019. URL: https://universityagro.ru/растениеводство/овес/ (Дата обращения 11.11.2023).

8. Grundy, M. M., Fardet, A., Tosh, S. M., Rich, G. T. & Wilde, P. J. (2018). Processing of oat: the impact on oat"s cholesterol lowering effect. Food & function, 9 (3), 1328-1343. https://doi.org/10.1039/c7fo02006f.

9. Valido, E. Stoyanov, J., Bertolo, A., Herting-Godeschalk, A., Zeh, R. M., Flueck, J. L., Minder, B., Stojic, S., Metzger, B. Bussler, W., Muka, T., Kern, M., &Glisic, M. (2021). Sistematic Review of the Oat Intake on Gastrointestinal Health. The Journal of nutrition, 151 (10), 3075-3090. https:/doi.org/10.1093/1n0nxab245.

10. Скрябин, А. А. Овёс посевной – ценная культура / А. А. Скрябин, И. Н. Фрольцова, А. А. Антипина // E – Scio. 2020. № 8 (47). С. 282-290.

11. Степаненко, Н. И. Определение качества плёнчатых сотов зерна овса для применения в диетических продуктах питания / И. Н. Степаненко, А. Г. Липшин // Современные тенденции в пищевых производствах [Электронный ресурс]: III Всерос. научн.-практ. конф. молодых учёных и учащ. молодёжи / Красноярский ГАУ. Красноярск, 2024. с. 82-87.

12. Кольтюгин, И. С. Выбор сырья и его технологии для производства овсяного напитка / И. С. Кольтюгин // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 128-133. DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.019. EDN HJPBKP.

13. Скурихина, И. М. Химический состав пищевых продуктов. Кн. 2: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / Под ред. проф., д–ратехн. наук И. М. Скурихина и проф., д–ра мед. наук М. Н. Волгарева. 2-е из. перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1987. 360 с.

14. Sumayya, P. C/ Quantum chemical investigation of the antiradical of avenanthramides, oat phenolics / P. C. Sumayya, GodraMerinBabu, K. Muraleedharan // Heliyon 7

(2021) e06125. 2021. P. 1 10. URL: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06125 (Дата обращения 8.11.2023).

15. Лоскутов, И. Г. Селекция на содержание β-глюканов в зерне овса как перспектива направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража / И. Г. Лоскунов, В. И. Полонский // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 4. С. 646-657.

16. Ефремова, А. А. Использование цельносмолотой многозерновой муки для повышения пищевой ценности макаронных изделий / А. А. Ефремова, И. В. Бакланова, Н. Л. Наумова // Ползуновский вестник. 2019. № 3. С. 8-12. DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.03.002. EDNFIKCDA.

17. Овёс и продукты его переработки. Электронный ресурс. URL: https://vniiz.org/science/publication/article-109 (дата обращения 26.11.2023).

18. Soycan, G. Composition and content of phenolic acids and avenanthramides in commercial oat products: are oats an important source for consumers? / G. Soycan, M. Y. Schär, A. Kristek, J. Boberska, S. N. S. Alsharif, G. Corona, P. R. Shewry, J. P. E. Spencer // Food chemistry: X. 2019. № 3. URL: https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100047 (Дата обращения 11.11.2023).

19. Аминева, И. Я. Кондитерские изделия функционального назначения с добавлением овсяной муки. / И. Я. Аминева, М. Ю. Тамова, В. К. Кочетов // Известия вузов. Пищевая технология. – 2010. – № 1. – С. 121-122.

20. Куницин, А. Польза и вред овса для организма – 7 доказательных фактов. Электронный ресурс. 2020. URL: https://wikifood.online/food/polza-ovsa.html (дата обращения 26.11.2023).

21. Традиционные способы переработки овса. 2016. Электронный ресурс. URL: https://helpiks.org/8-59676.html (дата обращения 26.11.2023).

22. Nyström, L. (2015). Iron(II) binding by cereal beta-glucan. Carbohydrate Polymers. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2014.07.038.

23. Marasca E, Zehnder-Wyss O, Boulos S and Nyström L (2022) Estimation of Iron Availability in Modified Cereal β-Glucan Extracts by an in vitro Digestion Model. Front. Nutr. 9:879280. doi: 10.3389/fnut.2022.879280.

24. Xu D, Feng M, Chu Y, Wang S, Shete V, Tuohy KM, Liu F, Zhou X, Kamil A, Pan D, Liu H, Yang X, Yang C, Zhu B, Lv N, Xiong Q, Wang X, Sun J, Sun G and Yang Y (2021) The Prebiotic Effects of Oats on Blood Lipids, Gut Microbiota, and Short-Chain Fatty Acids in Mildly Hypercholesterolemic Subjects Compared With Rice: A Randomized, Controlled Trial. Front. Immunol. 12:787797. doi: 10.3389/fimmu.2021.787797.

25. Singh RP and Bhardwaj A (2023) β-glucans: a potential source for maintaining gut microbiota and the immune system. Front. Nutr. 10:1143682. doi: 10.3389/fnut.2023.1143682

26. Липшин, А. Г. Источники генофонда овса коллекции вир для селекции в Восточной Сибири / А. Г. Липшин, С. А. Герасимов // Вестник КрасГАУ. 2017. № 12. С. 16-21.

27. FAOSTAT. Данные / Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых наций. Официальный сайт FAOSTA. // Электронный ресурс. – 2021. URL: https://www.fao.org/faostat/ru/#data (дата обращения 21.02.2025).

28. Волчок, В. Статистический анализ устойчивости сельскохозяйственного производства / В. Волчок // Экономический вестник (ЭКОВЕСТ), 4. 2002. с. 627–642.

29. Ширнаева, С. Ю. Статистический анализ устойчивости урожайности сельскохозяйственных культур / С. Ю. Ширнаева // Наука XXI века: актуальные направления развития. 2022. № 2-2. С. 37-40. DOI 10.46554/ScienceXXI-2022.10-2.2-pp.37. EDN ILBTPG.

30. Бобровский, А. В. Влияние минеральных удобрений и средств защиты растений на структуру урожая и качество зерна яровой пшеницы / А. В. Бобровский, А. А. Крючков, Н. С. Герасимова // Проблемы современной аграрной науки : материалы международной научной конференции, Красноярск, 15 октября 2022 года. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2022. С. 3-7. EDN ABKOYE.

31. Spasova, D., B. Atanasova, D. Valcheva, D. Spasov, M. Ilievski and A. Burovska, 2018. Productive features of oat varieties grown in organic production in the region of Strumica. Bulg. J. Agric. Sci., 24 (3): 398–403.

32. World Statistics - International Statistics. Электронныйресурс. URL: https://world-statistics.org/index-res.php?code=FAO-PROD-75-5312?name=Oats %20- %20Area %20Harvested %20(Ha) (Дата обращения 17.03.2025).

33. HarvestedareaoatsCanada 2024 | Statista. Опубликовано: 26 сентября 2024 г. Электронный ресурс. URL: https://www.statista.com/statistics/454297/area-of-oats-harvested-in-canada/ (дата обращения 15.03.2025).

34. Овёс. Посевные площади сельскохозяйственных культур / Кожемякина А.М. // Официальный сайт ЕМИСС. Электронный ресурс. URL: https://www.fedstat.ru/indicator/31328 (Дата обращения 26.03.2025).

35. Белая, А. Овсянка, сэр: зачем Китай скупает тысячи тонн российского овса | Forbes.ru. / А. Белая. Электронный ресурс. URL: https://www.forbes.ru/prodovolstvennaya-bezopasnost/509340-ovsanka-ser-zacem-kitaj-skupaet-tysaci-tonn-rossijskogo-ovsa (Дата обращения 26.03.2025).

36. Кардашина, В. Е. Влияние агрометеорологических условий на урожайность и развитие овса / В. Е. Кардашина, Л. С. Николаева // Пермский аграрный вестник. 2018. № 1(21). С. 69-76. EDN YTILYQ.

37. Минина, Н. Н. Анализ факторов устойчивости и моделирование урожайности сельскохозяйственных культур в аграрных организациях Могилевской области / Н. Н. Минина // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1. С. 20-23. EDN FCXIGC.

38. Кожемякина А.М. Овёс. Валовой сбор сельскохозяйственных культур. Федеральная служба государственной статистики / А.М Кожемякина // Официальный сайт ЕМИСС. Электронный ресурс. URL: https://www.fedstat.ru/indicator/30950 (Дата обращения 26.03.2025).

39. Овёс. Урожайность сельскохозяйственных культур (в расчете на убранную площадь). Федеральная служба государственной статистики / Кожемякина А.М. // Официальный сайт ЕМИСС. Электронный ресурс. URL: https://www.fedstat.ru/indicator/31533 (Дата обращения 26.03.2025).

40. Абашев, В. Д. Влияние минеральных удобрений на урожайностьи качество голозерного овса сорта Першерон / В.Д. Абашев, Ф.А. Попов, Е.Н. Носкова, С.Н. Жук // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2018, том 62, №1, С. 52-57.

41. Oats | USDA Foreign Agricultural Service. Официальный сайт. Электронный ресурс. URL: https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0452000 (дата обращения 16.03.2025).

42. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии). Информационно-аналитические материалы / Федеральная служба государственной статистики. Официальный сайт. Электронный ресурс. URL: https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277 (Дата обращения 26.03.2025).

43. Марченко, А. В. Значение культуры овса и оценка его целевого применения / А. В. Марченко // Московский экономический журнал. 2019. № 9. С. 85. DOI 10.24411/2413-046X-2019-19035. EDN NWAAGU.

44. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. Москва, 2025. 139 с.

45. Vasiliev A.S., FarinyukYu.T. Improving the Efficiency of Oat Cultivation Technologies in the Central Non-

Black Earth Region of Russia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2022, vol. 14, no. 4, pp. 384-402. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-4-384-402.

46. Henrichsen, Luana& Silva, José & Basso, Natiane&Fachinetto, Juliana & Colet, Christiane &Carvalo, Ivan &Sgarbosa, Jaqueline & Dias, Jessica &Meotti, Matheus&Coppetti, Karin &MilbradtBabeski, Cristhian&Bandeira, Willyan. (2022). Oat productivity by root and foliar nitrogen uptake in cropping systems. AustralianJournalofCropScience. 16. 1144-1151. 10.21475/ajcs.22.16.10. p. 3634.

47. Мыхлык, А. И. Влияние удобрений и регуляторов роста на строение и продуктивность растений овса посевного / А. И. Мыхлык, С. В. Лазаревич // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 1. С. 73-77. EDN ZCDARR

48. Малева, М. Г. Фотосинтетических пигментов и уреазную активность в листьях элодеи / М. Г. Малева, Г. Г. Борисова, Н. В. Чукина, Г. Ф. Некрасова // Водное хозяйство России. 2012. № 5. С. 61-68.

49. Dyer, C. & Sylvester-Bradley, Roger. (1998). Effects of nitrogen fertilizer on the grain yield and quality of winter oats. The Journal of Agricultural Science. 131. Pp. 395 - 407. 10.1017/S0021859698006042.

50. Sajdiasheva, G. Influence of mineral and modified fertilizers on oat yield / G. Sajdiasheva, A. Kulikova, A. Laschenkov, S. N. Nemtsev // Bio web of conferences : International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019), Kazan, 13–14 ноября 2019 года. EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. P. 00151. DOI 10.1051/bioconf/20201700151. EDN LXUAKL.

51. Серикова, К. И. Ценообразованиенарынкезерна / К. И. Серикова // International scientific review of the problems and PROSPECTS of modern science and education : Collection of scientific articles LXIII IInternational correspondence scientific and practical conference, Boston, USA, 22–23 октября 2019 года. Boston, USA: PROBLEMS OF SCIENCE, 2019. С. 59-61. EDN GBXSNH.

52. Среднегодовое количество осадков | Россия. Данные по годам. Электронный ресурс. URL: https://statbase.ru/data/rus-average-annual-precipitation/.

53. Среднегодовая температура воздуха | Россия. Данные по годам. Электронный ресурс. URL: https://statbase.ru/data/rus-average-mean-surface-air-temperature/.

54. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. Москва, 2025. 139 с.

55. Рост цен на зерно: кукуруза, пшеница и овес поднялись на биржах СВОТ. Грубый рис немного снизился. (13 марта 2025). Электронный ресурс. URL: https://forkagro.com/news/v/rost-cen-na-zerno-kukuruza-pshenica-i-oves-podnyalis-na-birzhah-cbot-grubyj-ris-nemnogo-snizilsya-13-marta-2025.

56. Официальные статистические показатели // Официальный сайт ЕМИСС. Электронный ресурс. URL: https://www.fedstat.ru/indicator/57705 (Дата обращения 26.03.2025).

57. Средние цены на приобретенные строительными организациями основные материалы, детали и конструкции с 2017 г., рубль. / Официальный сайт Центральная база статистических данных. Электронный ресурс. URL: https://web.archive.org/web/20190828171301/http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/DBInet.cgi?pl=9460002 (Дата обращения 26.03.2025).

58. Чаплыгина, И. А. Производство экструдированной смеси с предварительным проращиванием зерна овса / И. А. Чаплыгина, В. В. Матюшев, А. В. Семенов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 12(194). С. 91-95. EDN OJWFEL.

59. Остриков, А. Н. Технология микронизированных хлопьев для престартерных, стартерных комбикормов с использованием очищенного биогаза / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко, Л.Н. Фролова, И.В. Драган // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020;(1):127-136. https://doi.org/10.36107/spfp.2020.204.

60. Летушко, В. С., Безъязыков Д. С. Влияние гидротермической обработки на качественные показатели зерна овса / В. С. Летушко, Д. С. Безъязыков // Наука и образование: поиск перспектив модернизации : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 12 июля 2021г. Белгород : ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2021. С. 18-20. URL: https://apni.ru/article/2689-vliyanie-gidrotermicheskoj-obrabotki-na-kach.

61. Попова Н.В., Калинина И.В., Васильев А.К., Каменева К.С. Оценка эффективности и оптимизация процесса ферментации овсяного напитка молочнокислыми микроорганизмами. Аграрная наука. 2024;(2):127-132. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-127-132.

62. Байкалова, Л. П. Влияние минеральных удобрений и средств защиты растений на элементы структуры и урожайность ярового рапса / Л. П. Байкалова, А. В. Бобровский, А. А. Крючков // Вестник КрасГАУ. 2020. № 3(156). С. 3-10. DOI 10.36718/1819-4036-2020-3-3-10. EDN GZOXGQ.

63. Полонский, В. И. Содержание белков и углеводов в зерне ячменя и овса сибирской селекции / В. И. Полонский, А. В. Сумина, Т. М. Шалдаева // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 49-55. EDN YODELK.

Информация об авторах

Н. И. Степаненко – аспирант Красноярского научно–исследовательского института сельского хозяйства – обособленного подразделения ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Красноярский научный центр СО РАН».

А. Г. Липшин – кандидат сельскохозяйственных наук Красноярского научно–исследовательского института сельского хозяйства – обособленного подразделения ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Красноярский научный центр СО РАН».

Information about the authors

N. I. Stepanenko – post–graduate student at the Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture is a separate division of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center Siberian Branch of the Russian Academy Sciences".

A. G. Lipshin i – candidate of Agricultural Sciences at the Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture is a separate division of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center Siberian Branch of the Russian Academy Sciences".

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 114–120.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 114–120.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.785:641.56:664.68
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.017 EDN: CKQUTH

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРНОЙ КОМПОЗИЦИИ БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ МЯГКИХ ВАФЕЛЬ С ДОБАВЛЕНИЕМ МЕСТНЫХ ОВОЩЕЙ

Антонина Александровна Рядинская [1], Сергей Александрович Чуев [2], Елена Петровна Ерёменко [3], Антон Андреевич Дубровский [4]

[1, 2, 3, 4] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», Россия
[1] antonina.yurchenko.63@mail.ru
[2, 3, 4] info@bsaa.edu.ru

Аннотация. *В статье рассматривается возможность использования молотых сушеных овощных культур (томатов, тыквы, столовой моркови, репчатого лука, чеснока, листьев петрушки и шпината) в размере 5 % при производстве венских вафель на основе чечевичной муки. Изучено действие разных добавок из местного сырья на отличительные признаки и функциональные свойства мучного кондитерского изделия. Определены органолептические свойства мягких безглютеновых вафель с добавлением овощей и без них.*

Установлено, что изделия с внесением сушеных молотых томатов обладали функциональной направленностью по содержанию витамина Е, натрия, фосфора и железа; молотой сушеной тыквы – натрия, фосфора и железа; молотой сушеной столовой моркови – витамина А, натрия, фосфора и железа; молотого сушёного репчатого лука – натрия, фосфора и железа; молотого сушеного чеснока – натрия, фосфора и железа; молотой сушеной петрушки – витамина Е, натрия, фосфора и железа; молотого сушеного шпината – витамина А, β-каротина (провитамина А), фолатов, витамина Е, натрия, фосфора и железа.

Ключевые слова: *мучные кондитерские изделия, венские вафли, мягкие вафли, местные овощи, основные полезные вещества, энергия*

Для цитирования: Рядинская А. А., Чуев С. А., Еременко Е. П., Дубровский А. А. Разработка рецептурной композиции безглютеновых мягких вафель с добавлением местных овощей // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 114–120. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.017. EDN: https://elibrary.ru/CKQUTH.

Original article

DEVELOPMENT OF A RECIPE FOR GLUTEN-FREE SOFT WAFFLES WITH LOCAL VEGETABLES

Antonina A. Ryadinskaya [1], Sergey A. Chuev [2], Elena P. Eremenko [3], Anton A. Dubrovsky[4]

[1, 2, 3, 4] Russia Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin», Maysky village, Belgorod district, Russia

[1] antonina.yurchenko.63@mail.ru
[2, 3, 4] info@bsaa.edu.ru

Abstract. *The article discusses the possibility of using ground dried vegetable crops (tomatoes, pumpkin, table carrots, onions, garlic, parsley leaves, and spinach) in the amount of 5 % in the production of Vienna waffles based on lentil flour. The article studies the effect of various additives made from local raw materials on the distinctive features and functional properties of flour-based confectionery products. The article also determines the organoleptic properties of soft gluten-free waffles with and without vegetable additives.*

It was found that products with the addition of dried ground tomatoes had a functional orientation in the content of vitamin E, sodium, phosphorus and iron; ground dried pumpkin – sodium, phosphorus and iron; ground dried table carrots – vitamin A, sodium, phosphorus and iron; ground dried onions – sodium, phosphorus and iron; ground dried garlic – sodium, phosphorus and iron; ground dried parsley – vitamin E, sodium, phosphorus and iron; ground dried spinach – vitamin A, beta-carotene (provitamin A), folate, vitamin E, sodium, phosphorus and iron.

Keywords: *flour confectionery, Viennese waffles, soft waffles, local vegetables, basic nutrients, energy.*

For citation: Ryadinskaya A. A., Chuev S. A., Eremenko E. P. & Dubrovsky A. A. (2026). Development of a recipe for gluten-free soft waffles with local vegetables. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 114-120. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.017. EDN: https: //elibrary.ru/CKQUTH.

© Рядинская А. А., Чуев С. А., Еременко Е. П., Дубровский А. А., 2026

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРНОЙ КОМПОЗИЦИИ БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ МЯГКИХ ВАФЕЛЬ С ДОБАВЛЕНИЕМ МЕСТНЫХ ОВОЩЕЙ

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годов среди населения нашей страны увеличивается интерес к продуктам питания специального, диетического, лечебно-профилактического или функционального назначения. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года ориентирована на обеспечение полноценного питания, которое является одним из факторов, способствующих снижению риска возникновения ряда заболеваний.

Мучные кондитерские изделия ежедневного употребляются и детьми, и подростками, и взрослыми. К ним относятся венские вафли, или мягкие вафли, которые выбирают на завтрак, в качестве перекуса, дополнения к основному приему пищи или десерта. Они гармонично сочетаются с различными напитками. Однако мягкие вафли изготавливаются, в основном, из продуктов с недостаточной пищевой ценностью, небольшим количеством витаминов и минералов, высокой калорийностью. Рецептуры венских вафель требуют пересмотра и корректировки с целью введения полезных для организма человека компонентов. Кроме того, возрастает потребность в изделиях, полезных для граждан, у которых есть ограничения в ежедневном рационе питания [1-5].

Целью испытаний явилось изучение применения добавки из местных овощей в технологии производства безглютеновых мягких вафель на основе чечевичной муки для оценки изменения их полезных свойств и приобретения функциональной направленности.

Задачи:

– рассмотреть полезные свойства местных овощей;

– сформировать обоснованные рецептурные композиции безглютеновых мягких вафель с добавками;

– произвести опытные образцы продукта;

– вычислить пищевую и энергетическую ценность, содержание витаминов и минералов; рассчитать обеспеченность пищевыми веществами и энергией готовых безглютеновых мягких вафель;

– выявить отличительные признаки и произвести оценку функциональных свойств продукта и их варьирование в зависимости от вводимого овощного компонента из местного сырья.

Объектами проведенных испытаний стали один контрольный и семь опытных образцов продукта.

МЕТОДЫ

Для достижения поставленных цели и задач осуществлены испытания в условиях технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, направленные на оценку возможности расширения ассортимента мучных кондитерских изделий.

Содержание основных пищевых веществ и энергии в безглютеновых мягких вафлях с добавлением местных овощей рассчитывали на 100 г продукта.

Полученные количественные результаты испытаний обрабатывали с использованием общепринятых статистических методов и прикладного программного обеспечения.

Рассмотрены и проанализированы показатели:

– контрольного образца – безглютеновых мягких вафель на основе чечевичной муки;

– опытного образца № 1 – безглютеновых мягких вафель на основе чечевичной муки с внесением молотых сушеных томатов;

– опытного образца № 2 – безглютеновых мягких вафель на основе чечевичной муки с добавлением молотой сушеной тыквы;

– опытного образца № 3 – безглютеновых мягких вафель на основе чечевичной муки с внесением молотой сушеной столовой моркови;

– опытного образца № 4 – безглютеновых мягких вафель на основе чечевичной муки с добавлением молотого сушеного репчатого лука;

– опытного образца № 5 – безглютеновых мягких вафель на основе чечевичной муки с внесением молотого сушеного чеснока;

– опытного образца № 6 – безглютеновых мягких вафель на основе чечевичной муки с добавлением молотой сушеной петрушки;

– опытного образца № 7 – безглютеновых мягких вафель на основе чечевичной муки с внесением молотого сушеного шпината.

Контрольный образец безглютеновых мягких вафель изготавливали из чечевичной муки, растительного масла, воды, овсяной муки, куриных яиц с добавлением соли поваренной пищевой, перца сладкого молотого, разрыхлителя и перца черного молотого.

В опытных образцах безглютеновых мягких вафель часть чечевичной муки в объеме 5 % заменяли на овощной компонент из местного сырья: томатов, тыквы, столовой моркови, репчатого лука, чеснока, листьев петрушки, шпината.

Из зерновых бобовых культур чечевица лидирует по полезным свойствам. Мука из нее относится к ценным продуктам. В составе чечевичной муки присутствуют отдельные основные жирорастворимые и водорастворимые витамины, разнообразные минералы [2].

За последние годы ежегодно хозяйства всех категорий Белгородской области собирают более 270 тыс. тонн картофеля и свыше 200 тыс. тонн различных овощей. Среди них томаты, тыква, столовая морковь, репчатый лук, чеснок, петрушка и шпинат.

В томатах присутствуют в большом количестве пищевые волокна, полезные каротиноиды, основные водорастворимые витамины, минералы, органические кислоты [6,7].

Мякоть тыквы накапливает пищевые волокна, минеральные вещества, витамины группы В и витамин Е, каротиноиды, минеральные вещества: йод, селен, железо, кальций, магний и калий [4,7].

Корнеплоды столовой моркови содержат основные водорастворимые витамины, витамин Е, β-каротин, значительное количество минералов [8].

Во внутренних мягких чешуйках репчатого лука зафиксирован большой объем основных водорастворимых витаминов, витамина Е, биофлаваноидов, фитонцидов. В овоще присутствует полный набор минеральных веществ [9].

Луковицы чеснока в значительном количестве накапливает витамин С, калий, соли железа. В его составе есть фитонциды, витамины группы В, жирорастворимые витамины, фосфор, микроэлементы [10].

В составе петрушки присутствует широкий спектр биологически активных компонентов [11].

Шпинат богат β-каротином, основными витаминами и минералами [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрены показатели пищевой и энергетической ценности в образцах мучного кондитерского изделия.

Содержание белков изменялось от 8,5 г в опытных образцах мучного кондитерского изделия с вве-

дением молотых сушеных томатов, молотой сушеной тыквы, молотой сушеной столовой моркови, молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока, молотой сушеной петрушки до 9,0 г в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание белков, жиров, углеводов, энергии и пищевых волокон в 100 гр безглютеновых мягких вафель с добавлением местных овощей

Table 1 – Content of proteins, fats, carbohydrates, energy, and dietary fiber in 100 g of gluten-free soft waffles with local vegetables

Образец	Пищевая ценность (г)			Энергетическая ценность (кКал)	Пищевые волокна (г)
	Белки	Жиры	Углеводы		
К	8,5 ±0,41	5,0 ±0,23	16,0 ±0,7	150,0 ±7,4	3,4 ±0,16
1	8,5 ±0,41	5,0 ±0,23	16,0 ±0,7	150,0 ±7,4	3,5 ±0,17
2	8,5 ±0,41	5,0 ±0,23	15,0 ±0,7	150,0 ±7,4	3,3 ±0,15
3	8,5 ±0,41	5,0 ±0,23	16,0 ±0,7	150,0 ±7,4	3,3 ±0,15
4	8,5 ±0,41	5,0 ±0,23	16,0 ±0,7	150,0 ±7,4	3,3 ±0,15
5	8,5 ±0,41	5,0 ±0,23	16,0 ±0,7	150,0 ±7,4	3,4 ±0,16
6	8,5 ±0,41	5,0 ±0,23	16,0 ±0,7	150,0 ±7,4	3,6 ±0,18
7	9,0 ±0,44	5,0 ±0,23	16,0 ±0,7	150,0 ±7,4	3,4 ±0,16

Содержание жиров в образцах мучного кондитерского изделия составило 5,0 г. Добавление местных овощей не повлияло на показатель.

Содержание углеводов варьировало от 15,0 г в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы до 16,0 г в опытных образцах мучного кондитерского изделия с введением молотых сушеных томатов, молотой сушеной столовой моркови, молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока, молотой сушеной петрушки, молотого сушеного шпината.

Энергетическая ценность образцов мучного кондитерского изделия составила 150 кКал, что позволяет отнести безглютеновые мягкие вафли на основе чечевичной муки с добавлением местных овощей и без них к продуктам с низкой калорийностью. Добавление местных овощей не повлияло на показатель.

Содержание пищевых волокон изменялось от 3,3 г в опытных образцах мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы, молотой сушеной столовой моркови, молотого сушеного репчатого лука до 3,6 г в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной петрушки. По значению показателя безглютеновые мягкие вафли на основе чечевичной муки с добавлением местных овощей и без них можно отнести к источникам пищевых волокон.

Проанализированы показатели концентрации витаминов группы В в образцах мучного кондитерского изделия (таблица 2).

Содержание витамина B_1 – тиамина – в образцах мучного кондитерского изделия составило 0,2 мг; витамина B_2 – рибофлавина – 0,1 мг; витамина B_5 – пантотеновой кислоты – 0,3 мг; витамина B_{12} – цианокобаламина – 0,1 мкг. Добавление местных овощей не повлияло на показатели.

Таблица 2 – Содержание витаминов группы В в 100 гр безглютеновых мягких вафель с добавлением местных овощей

Table 2 – Vitamin B content in 100 g of gluten-free soft waffles with local vegetables

Образец	Витамины (мг)						
	B_1	B_2	B_4	B_5	B_6	B_9 (мкг)	B_{12} (мкг)
К	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	36,2 ± 1,80	0,3 ± 0,02	0,1 ± 0,01	59,7 ± 2,97	0,1 ± 0,01
1	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	36,2 ± 1,80	0,3 ± 0,02	0,1 ± 0,01	58,5 ± 2,92	0,1 ± 0,01
2	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	36,2 ± 1,80	0,3 ± 0,02	0,1 ± 0,01	57,4 ± 2,86	0,1 ± 0,01
3	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	36,2 ± 1,80	0,3 ± 0,02	0,1 ± 0,01	56,8 ± 2,83	0,1 ± 0,01
4	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	36,9 ± 1,81	0,3 ± 0,02	0,2 ± 0,01	59,1 ± 2,96	0,1 ± 0,01
5	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	37,1 ± 1,85	0,3 ± 0,02	0,2 ± 0,01	57,4 ± 2,86	0,1 ± 0,01
6	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	37,6 ± 1,86	0,3 ± 0,02	0,1 ± 0,01	59,3 ± 2,96	0,1 ± 0,01
7	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01	38,8 ± 1,93	0,3 ± 0,02	0,2 ± 0,01	68,4 ± 3,41	0,1 ± 0,01

Наивысшее содержание витамина B_4 – холина – 38,8 мг – определено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината; наименьшее – 36,2 мг – в опытных образцах мучного кондитерского изделия с введением молотых сушеных томатов, молотой сушеной тыквы, молотой сушеной моркови.

Наибольшее содержание витамина B_6 – пиридоксина – 0,2 мг – установлено в опытных образцах мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока, молотого сушеного шпината; наименьшее – 0,1 мг – в опытных образцах мучного кондитерского изделия с введением других овощей.

Наивысшее содержание витамина B_9 – фолатов – 68,4 мг – определено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината; наименьшее – 56,8 мг – в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной столовой моркови.

Рассмотрены показатели концентрации отдельных водорастворимых витаминов в образцах мучного кондитерского изделия (таблица 3).

Наибольшее содержание витамина С – 8,5 мг – установлено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината; наименьшее – 0,5 мг – в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного чеснока.

Наивысшее содержание витамина РР – 1,3 мг – определено в опытном образце мучного кондитерского

изделия с введением молотого сушеного шпината; наименьшее – 1,1 мг – в опытных образцах мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы, молотой сушеной столовой моркови, молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока.

Таблица 3 – Содержание отдельных водорастворимых витаминов в 100 гр безглютеновых мягких вафель с добавлением местных овощей

Table 3 – Content of selected water-soluble vitamins in 100 g of gluten-free soft waffles with local vegetables

Образец	Витамины (мг)	
	C	PP
К	0,5±0,03	1,1±0,05
1	2,1±0,10	1,2±0,06
2	0,8±0,04	1,1±0,05
3	0,6±0,03	1,1±0,05
4	0,6±0,03	1,1±0,05
5	0,5±0,03	1,1±0,05
6	2,3±0,11	1,2±0,06
7	8,5±0,42	1,3±0,07

Проанализированы показатели концентрации отдельных жирорастворимых витаминов и β-каротина в образцах мучного кондитерского изделия (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание отдельных жирорастворимых витаминов и β-каротина в 100 гр безглютеновых мягких вафель с добавлением местных овощей

Table 4 – Content of selected fat-soluble vitamins and β-carotene in 100 g of gluten-free soft waffles with local vegetables

Образец	Витамины (мг)			
	A (мкг)	β-каротин (про-витамин А)	E	D (мкг)
К	45,3±2,26	0,1±0,01	1,5±0,07	0,3±0,02
1	57,6±2,87	0,2±0,01	1,7±0,08	0,3±0,02
2	56,3±2,80	0,2±0,01	1,5±0,07	0,3±0,02
3	618,8±30,84	0,7±0,04	1,5±0,07	0,3±0,02
4	45,2±2,25	0,1±0,01	1,5±0,07	0,3±0,02
5	45,2±2,25	0,1±0,01	1,5±0,07	0,3±0,02
6	46,6±2,32	0,1±0,01	1,6±0,08	0,3±0,02
7	154,8±7,73	0,8±0,04	1,8±0,09	0,3±0,02

Наибольшее содержание витамина А – 618,8 мкг – установлено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной столовой моркови; наименьшее – 45,2 мг – в опытных образцах мучного кондитерского изделия с введением сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока.

Наивысшее содержание β-каротина – провитамина А – 0,8 мг – определено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината; наименьшее – 0,1 мг – в опытных образцах мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока, молотой сушеной петрушки.

Наибольшее содержание витамина Е – 1,8 мг – установлено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината; наименьшее – 1,5 мг – в опытных образцах мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы, молотой сушеной соловой моркови, молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока, молотой сушеной петрушки.

Содержание витамина D в образцах мучного кондитерского изделия составило 0,3 мкг. Добавление местных овощей не повлияло на показатель.

Рассмотрены показатели концентрации некоторых макроэлементов в образцах мучного кондитерского изделия (таблица 5).

Таблица 5 – Содержание макроэлементов в 100 г безглютеновых мягких вафель с добавлением местных овощей

Table 5 – Macronutrient content in 100 g of gluten-free soft waffles with local vegetables

Образец	Макроэлементы (мг)				
	K	Ca	Mg	Na	P
К	244,4 ± 12,12	43,4 ±2,16	22,9 ±1,13	221,1 ±10,95	160,9 ±8,04
1	262,4 ±13,02	44,6 ±2,22	24,6 ±1,22	222,2 ±11,01	159,5 ±7,97
2	243,8 ±12,09	43,3 ±2,16	22,7 ±1,12	220,5 ±10,93	156,4 ±7,81
3	248,7 ±12,33	43,7 ±2,17	22,9 ±1,13	221,2 ±10,95	159,5 ±7,97
4	249,9 ±12,40	44,9 ±2,23	23,3 ±1,15	221,9 ±11,0	160,3 ±8,03
5	251,9 ±12,50	43,4 ±2,16	23,2 ±1,15	221,2 ±10,95	161,2 ±8,06
6	273,3 ±13,57	58,6 ±2,92	27,8 ±1,38	226,8 ±11,24	161,6 ±8,07
7	347,9 ±17,30	57,7 ±2,88	34,1 ±1,69	223,8 ±11,09	167,4 ±8,36

Наивысшее содержание калия – 347,9 мг – определено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината; наименьшее – 243,8 мг – в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы.

Наибольшее содержание кальция – 58,6 мг – установлено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной петрушки; наименьшее – 43,3 мг – в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы.

Наивысшее содержание магния – 34,1 мг – определено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината; наименьшее – 22,7 мг – в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы.

Наибольшее содержание натрия – 226,8 мг – установлено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной петрушки; наименьшее – 220,5 мг – в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы. При этом образцы существенно не отличались между собой по значению показателя.

Наивысшее содержание фосфора – 167,4 мг – определено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината; наименьшее – 156,4 мг – в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы.

Проанализированы показатели концентрации некоторых микроэлементов в образцах мучного кондитерского изделия (таблица 6).

Наибольшее содержание железа – 5,8 мг – установлено в опытном образце мучного кондитерского изде-

лия с введением молотого сушеного шпината; наименьшее – 3,8 мг – в опытных образцах мучного кондитерского изделия с введением молотых сушеных томатов, молотой сушеной тыквы, молотой сушеной моркови.

Таблица 6 – Содержание микроэлементов в 100 гр безглютеновых мягких вафель с добавлением местных овощей

Table 6 – Micronutrient content in 100 g of gluten-free soft waffles with local vegetables

Образец	Микроэлементы (мг)		
	Fe	Zn	I (мкг)
К	4,0±0,19	1,2±0,05	2,9±0,14
1	3,8±0,17	1,2±0,05	2,9±0,14
2	3,8±0,17	1,2±0,05	2,9±0,14
3	3,8±0,17	1,2±0,05	2,9±0,14
4	3,9±0,18	1,2±0,05	2,9±0,14
5	3,9±0,18	1,2±0,05	2,9±0,14
6	4,1±0,20	1,2±0,05	2,9±0,14
7	5,8±0,28	1,2±0,05	5,2±0,25

Содержание цинка в образцах мучного кондитерского изделия составило 1,2 г. Добавление местных овощей не повлияло на показатель.

Наибольшее содержание йода – 5,2 мкг – установлено в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината; наименьшее – 2,9 мг – в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением других овощей.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изучены результаты нутриентного баланса опытных образцов мучного кондитерского изделия с учетом средней суточной потребности взрослого человека в основных пищевых веществах и энергии.

Обеспеченность белками изменялась от 11,3 % у опытных образцов мучного кондитерского изделия с введением молотых сушеных томатов, молотой сушеной тыквы, молотой сушеной столовой моркови, молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока, молотой сушеной петрушки до 12,0 % у опытных образцов мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината

Обеспеченность жирами образцов мучного кондитерского изделия составила 6,1 %.

Обеспеченность углеводами варьировала от 4,1 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы до 4,4 % у опытных образцов мучного кондитерского изделия с введением молотых сушеных томатов, молотой сушеной столовой моркови, молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока, молотой сушеной петрушки, молотого сушеного шпината.

Обеспеченность энергией образцов мучного кондитерского изделия составила 6,0 %.

Обеспеченность пищевыми волокнами варьировала от 10,9 % у опытных образцов мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы, молотой сушеной столовой моркови, молотого сушеного репчатого лука до 12,0 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной петрушки.

Обеспеченность у образцов мучного кондитерского изделия витамином B_1 – тиамином – составила 11,5 %; витамином B_2 – рибофлавином – 6,3 %; витамином B_5 – пантотеновой кислотой – 4,9 %; витамином B_{12} – цианокобаламином – 7,5 %.

Обеспеченность витамином B_4 – холином – изменялась от 7,2 % у опытных образцов мучного кондитерского изделия с введением молотых сушеных томатов, молотой сушеной тыквы, молотой сушеной моркови до 7,8 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината.

Обеспеченность витамином B_6 – пиридоксином – варьировала от 6,8 % у опытных образцов мучного кондитерского изделия с введением молотых сушеных томатов, молотой сушеной тыквы, молотой сушеной столовой моркови, молотой сушеной петрушки до 8,0 % у опытных образцов мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока, молотого сушеного шпината.

Обеспеченность витамином B_9 – фолатами – изменялась от 14,2 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной моркови до 17,1 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината (рисунок 1).

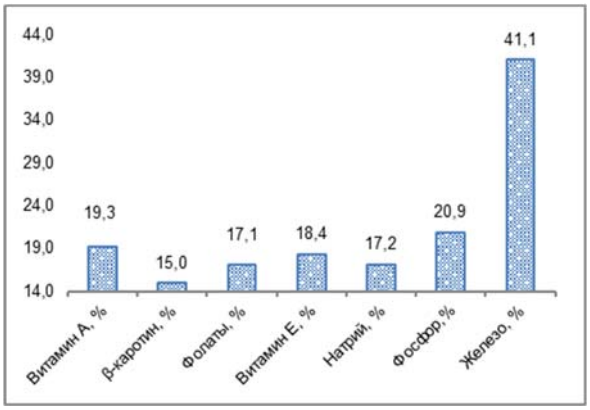


Рисунок 1 – Функциональные свойства безглютеновых мягких вафель с добавлением молотого сушеного шпината

Figure 1 – Functional properties of gluten-free soft waffles with ground dried spinach added

Обеспеченность витамином С варьировала от 0,8 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного чеснока до 14,2 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината.

Обеспеченность витамином РР изменялась от 6,1 % у опытных образцов мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы, молотой сушеной столовой моркови, молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока до 7,0 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината.

Обеспеченность витамином А варьировала от 5,7 % у опытных образцов мучного кондитерского изделия с введением сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока до 77,4 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной столовой моркови.

Обеспеченность β-каротином изменялась от 1,9 % у опытных образцов мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока, молотой сушеной петрушки до 15,0 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината.

Обеспеченность витамином Е варьировала от 14,8 % у опытных образцов мучного кондитерского

изделия с введением молотой сушеной тыквы, молотой сушеной соловой моркови, молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока, молотой сушеной петрушки до 18,4 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината.

Обеспеченность витамином D образцов мучного кондитерского изделия составила 6,3 %.

Обеспеченность калием изменялась от 7,0 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы до 9,9 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината.

Обеспеченность кальцием варьировала от 4,3 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы до 5,9 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной петрушки.

Обеспеченность магнием изменялась от 5,7 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы до 8,5 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината.

Обеспеченность натрием варьировала от 17,0 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы (рисунок 2) до 17,4 % в опытном образце мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной петрушки.

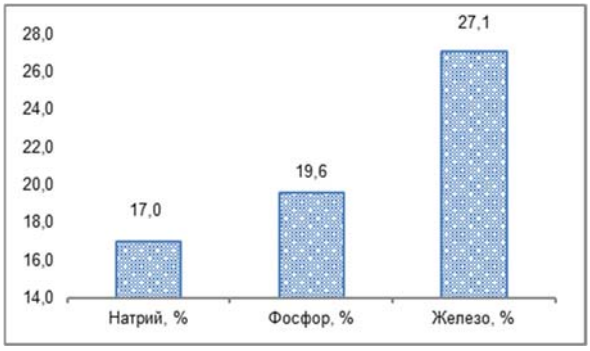


Рисунок 2 – Функциональные свойства безглютеновых мягких вафель с добавлением молотой сушеной тыквы

Figure 2 – Functional properties of gluten-free soft waffles with ground dried pumpkin added

Обеспеченность фосфором изменялась от 19,6 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотой сушеной тыквы до 20,9 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината.

Обеспеченность железом варьировала от 27,1 % у опытных образцов мучного кондитерского изделия с введением молотых сушеных томатов, молотой сушеной тыквы, молотой сушеной моркови до 41,1 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината.

Обеспеченность цинком у образцов мучного кондитерского изделия составила 7,7 %.

Обеспеченность йодом варьировала от 1,9 % у опытных образцов с введением молотых сушеных томатов, молотой сушеной тыквы, молотой сушеной столовой моркови, молотого сушеного репчатого лука, молотого сушеного чеснока, молотой сушеной петрушки до 3,5 % у опытного образца мучного кондитерского изделия с введением молотого сушеного шпината.

Проведена оценка органолептических показателей образцов безглютеновых мягких вафель с добавлением местных овощей и без них. Поверхность готовых изделий имела четко выраженный рисунок. Мягкие безглютеновые вафли держали форму после выпечки: без повреждений и объемная. Изделия хорошо пропеченные, с развитой пористостью, с несладким вкусом и ароматом добавленных местных овощей.

Разработанные рецептурные композиции безглютеновых мягких вафель с добавлением местных овощей (томатов, тыквы, столовой моркови, репчатого лука, чеснока, листьев петрушки, шпината) могут быть использованы для организации круглогодичного производства на маленьких предприятиях, ежедневного поставляющих свою продукцию в небольшие точки общественного питания, расположенные в крупных населённых пунктах.

ВЫВОДЫ

Разработаны рецептурные композиции и проведена оценка показателей качества мягких безглютеновых вафель на основе чечевичной муки с добавлением местных овощей.

Установлены отличительные признаки по ТР ТС 022/2011 и функциональные свойства изделий согласно ГОСТ Р 56145-2014.

Источником (не менее 15 % средней суточной потребности взрослого человека) витамина А и β-каротина (провитамина А) определены мягкие безглютеновые вафли с введением молотого сушеного шпината: 19,3 % и 15,0 % соответственно.

Источником витамина B_9 – фолатов – установлены мягкие безглютеновые вафли с введением молотого сушеного шпината – 17,1 %.

Источником витамина Е определены мягкие безглютеновые вафли с введением молотой сушеной петрушки – 16,0 %, молотых сушеных томатов – 16,5 %, молотого сушеного шпината – 18,4 %.

Источниками натрия – 17,0-17,4 %, фосфора – 19,6-20,9 % и железа – 27,1-41,1 % установлены мягкие безглютеновые вафли с введением молотых сушеных томатов, молотой сушеной тыквы, молотой сушеной столовой моркови, молотого сушеного репчатого лука; молотого сушеного чеснока, молотой сушеной петрушки, молотого сушеного шпината.

Высокое содержание (не менее 30 % средней суточной потребности взрослого человека) витамина А определено в составе мягких безглютеновых вафель с введением молотой столовой моркови – 77,4 %.

Высокое содержание железа установлено в составе мягких безглютеновых вафель с введением молотого шпината – 41,1 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игонина, Д.И. Современные технологии производства мучных кондитерских изделий для диетического питания / Д.И. Игонина, А.А. Кораблева, И.А. Панкина // Биотехнологические аспекты управления технологиями пищевых продуктов в условиях международной конкуренции: Сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Курган, 19 марта 2019 года / Под общей редакцией С.Ф. Сухановой. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2019. С. 281 – 285. EDN VXSMDW.

2. Кукаркина, Ю.К. Различные виды муки из нетрадиционных источников сырья для расширения ассортимента мучных изделий / Ю.К. Кукаркина, Д.Н. Махиянова, Л.З. Габдукаева // Пищевая индустрия в современных

условиях: тренды и инновации: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Орел, 19 апреля 2023 года. Том Выпуск 2. Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2023. С. 252-255. EDN WLQVYH.

3. Новикова, С.М. Обзор нормативно-технологической документации для производства мягких диабетических вафель / С.М. Новикова, К.Е. Белоглазова, Г.Е. Рысмухамбетова // Актуальные проблемы прикладной биотехнологии и инженерии: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию образования факультета прикладной биотехнологии и инженерии, Оренбург, 21 июня 2024 года. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2024. С. 251-260. EDN CATODD.

4. Бочкарева, З.А. Исследование использования порошка из мякоти тыквы в производстве мягких вафель / З.А. Бочкарева, Е.И. Полосина // Вектор научной мысли. 2023. № 3(3). С. 113-117. EDN DFGYTF.

5. Ретивых, И.М. Разработка технологии венских вафель из композитной смеси гречневой и овсяной муки / И.М. Ретивых, К.Е. Белоглазова, Г.Е. Рысмухамбетова // Пищевые здоровьесберегающие технологии: Сборник тезисов II Международного Симпозиума, посвященного 50-летию КемГУ, Кемерово, 02–03 ноября 2023 года. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2023. С. 271 – 274. EDN JOPDPZ.

6. Папулов, Д.А. Химическая анатомия томатов / Д.А. Папулов // Конкурентоспособность территорий: Материалы XXV Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. В 3-х частях, Екатеринбург, 27–30 апреля 2022 года / Отв. за выпуск: Я.П. Силин, В.Е. Ковалев. Том Часть 2. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2022. С. 179 – 181. EDN XFZNMN.

7. Котельникова, М.Н. Исследование показателей качества макаронных изделий с внесением в рецептуру натуральных овощных соков / М.Н. Котельникова, Е.А. Веретенникова // Актуальные вопросы современных технологий производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, Курск, 31 марта 2023 года. Том Часть 2. – Курск: Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, 2023. С. 59-65. EDN PWIAYJ.

8. Влияние способа получения порошка из моркови на качественные показатели морковного печенья / И.В. Алтухов, В.Д. Очиров, С.М. Быкова, Н.И. Чепелев // Вестник КрасГАУ. 2020. № 12(165). С. 232 – 237. EDN NEXOKD.

9. Переработка репчатого лука сорта Стригуновский местный при помощи экстрагирования / Ю.В. Родионов, Г.В. Рыбин, А.А. Гуськов [и др.] // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 142-147. EDN RKVQEJ.

10. Абдураимов, А.Н. Технология выращивания ярового чеснока / А.Н. Абдураимов, Е.Н. Кузнецова // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Материалы всероссийской студенческой научно-практической конференции. В III томах, Иркутск, 16–17 февраля 2023 года. Том I. п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. С. 3-6. EDN KQIGXK.

11. Нестеренко, О.В. Петрушка (Petroselinum crispum N.) как пищевое сырье / О.В. Нестеренко, С.В. Нестеренко // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 2-1(60). С. 45 – 47. EDN AGYZQW.

12. Едыгова, С.Н. Разработка рецептуры и технологии пшеничного хлеба с добавлением пюре из шпината / С.Н. Едыгова, И.А. Сергеева, С.Т. Беретарь // Новые технологии. 2025. Т. 21, № 4. С. 21-29. EDN NAJFXD.

Информация об авторах

А. А. Рядинская – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ (e-mail: antonina.yurchenko.63@mail.ru).

С. А. Чуев – кандидат биологических наук, доцент технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

Е. П. Ерёменко – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

А. А. Дубровский – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

Information about the authors

A. A. Ryadinskaya – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University.

S. A. Chuev – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University.

E. P. Eremenko – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University.

A. A. Dubrovsky – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 121–126.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 121–126.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 613.63
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.018 EDN: CKZHHP

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КАЛЬЦИЯ, ЦЕЗИЯ, СТРОНЦИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Виктория Геннадьевна Симонова

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», Орел, Россия
segeja36@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4639-5311

Аннотация. *Значимость темы исследования обусловлена важностью влияния содержания кальция, цезия и стронция в пищевых продуктах на здоровье костно-суставной системы человека. Дисбаланс этих элементов может приводить к развитию различных патологий, таких как остеопороз, остеоартроз и другие заболевания опорно-двигательного аппарата, в том числе рак костей.*

Рак костей – это опухоли из аномальных клеток костей и хрящей, которые могут распространяться на другие ткани и органы. Он может развиться из любой клетки кости. Существует множество видов рака костей, в том числе остеосаркома, саркома Юинга, хондросаркома и хордома. Эти злокачественные первичные опухоли костей, или рак костей, встречаются реже, чем доброкачественные (незлокачественные, нераковые) опухоли костей. Они также встречаются реже, чем рак, который распространился на кости из других частей тела. Рак костей встречается редко, но чаще – у детей, чем у взрослых. На его долю приходится около 5 % всех случаев рака у детей.

Среднее содержание Цезия-137 в зерновых культурах, выращенных в регионе, составляет около 5 Бк/кг, а в молочной продукции – менее 1 Бк/л. Уровни Стронция-90 в продуктах питания находятся в пределах 0,1–0,5 Бк/кг или Бк/л. Средняя удельная активность Кальция-40 в молочных продуктах составляет около 50 Бк/кг, в мясных продуктах – 30 Бк/кг, в хлебобулочных изделиях – 20 Бк/кг, что соответствует естественному радиационному фону.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов для разработки мер по профилактике и своевременному лечению патологий костно-суставной системы у жителей Орловской области, а также для оптимизации мониторинга содержания кальция, цезия и стронция в окружающей среде и пищевых продуктах региона.

Ключевые слова: *кальций, цезий, стронций, остеопороз, остеоартрит, рак костей, продукты питания.*

Для цитирования: Симонова В. Г. Анализ влияния содержания кальция, цезия, стронция пищевых продуктов на организм человека // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 121–126. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.018. EDN: https://elibrary.ru/CKZHHP.

Original article

ANALYSIS OF INFLUENCE OF CALCIUM, CESIUM, STRONTIUM CONTENT OF FOOD PRODUCTS ON HUMAN BODY

Victoria G. Simonova

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Oryol State University named after I.S. Turgenev, Oryol, Russia Technical University, Barnaul, Russia
segeja36@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4639-5311

Abstract. *The significance of the research topic is due to the importance of the influence of calcium, cesium and strontium content in food products on the health of the human musculoskeletal system. An imbalance of these elements can lead to the development of various pathologies, such as osteoporosis, osteoarthritis and other diseases of the musculoskeletal system, including bone cancer.*

Bone cancer is a tumor of abnormal bone and cartilage cells that can spread to other tissues and organs. It can develop from any bone cell. There are many types of bone cancer, including osteosarcoma, Ewing's sarcoma, chondrosarcoma and chordoma. These malignant primary bone tumors, or bone cancer, are less common than benign (non-cancerous, non-cancerous) bone tumors. They are also less common than cancer that has spread to the bones from other parts of the body. Bone cancer is rare, but is more common in children than in adults. It accounts for about 5 % of all cancers in children. The average content of Cesium-137 in grain crops grown in the region is about 5 Bq/kg, and in dairy products - less than 1 Bq/l. Strontium-90 levels in food products are within 0.1-0.5 Bq/kg or Bq/l. The average specific activity of Calcium-40 in dairy products is about 50 Bq/kg, in meat products - 30 Bq/kg, in bakery products - 20 Bq/kg, which corresponds to the natural radiation background. The practical significance of the study lies in the possibility of using the obtained results to develop measures for the prevention and timely treatment of pathologies of the

© Симонова В. Г., 2026

musculoskeletal system in residents of the Oryol region, as well as to optimize the monitoring of calcium, cesium and strontium in the environment and food products of the region.

Keywords: *calcium, cesium, strontium, osteoporosis, osteoarthritis, bone cancer, food products.*

For citation: Simonova V. G. (2026). Analysis of influence of calcium, cesium, strontium content of food products on human body. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 121-126. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.018. EDN: https://elibrary.ru/CKZHHP.

ВВЕДЕНИЕ

Кальций, цезий и стронций являются важными элементами, влияющими на функционирование костно-суставной системы. Их роль в поддержании здоровья опорно-двигательного аппарата обусловлена участием в различных физиологических процессах, связанных с формированием и поддержанием костной ткани, а также с регуляцией минерального обмена в организме.

Изучение региональных особенностей содержания кальция, цезия и стронция и их связи с заболеваемостью населения является важной задачей для профилактики и своевременного лечения патологий костно-суставной системы, в том числе рака костей.

К факторам риска возникновения рака костей относятся такие методы лечения, как облучение, химиотерапия или трансплантация стволовых клеток.

Люди, получившие лучевую терапию (обычно для лечения другого типа рака), имеют несколько повышенный риск развития рака костей в области, которая была пролечена. Этот риск выше у людей, которые получали лечение в более молодом возрасте (особенно в детстве), и у тех, кто получал более высокие дозы облучения.

Эти виды рака, как правило, развиваются через много лет (часто десятилетий) после проведения лучевой терапии. Чаще всего это остеосаркомы, но они могут быть и менее распространенными видами рака костей, такими как фибросаркома кости или недифференцированная плеоморфная саркома кости.

Вероятность появления рака костей также выше при наследственных заболеваниях, таких как наследственная ретинобластома, синдром Ли-Фраумени, наследственные дефекты костей и туберозный склероз. Определённые доброкачественные заболевания костей, такие как болезнь Педжета, также могут повышать риск развития рака костей.

Кальций является одним из наиболее важных минералов в организме человека, играющим ключевую роль в формировании и поддержании здоровья костно-суставной системы. Около 99 % всего кальция в организме находится в костной ткани, где он является основным структурным компонентом, обеспечивающим прочность и твердость костей. Кальций участвует в процессе минерализации костного матрикса, который состоит из органических веществ, таких как коллаген и протеогликаны. В ходе этого процесса ионы кальция связываются с фосфатными группами, образуя кристаллы гидроксиапатита, которые откладываются в костном матриксе, придавая костям твердость и устойчивость к механическим нагрузкам.

Достаточное потребление кальция с пищей и его нормальный метаболизм в организме являются необходимыми условиями для поддержания процесса минерализации костей [1].

Кроме участия в формировании костной ткани, кальций также играет важную роль в функционировании мышечной системы, в том числе мышц, обеспечивающих движение суставов.

Ионы кальция необходимы для нормального сокращения мышечных волокон, так как они участвуют в процессе взаимодействия белков актина и миозина, лежащего в основе мышечного сокращения. Достаточная концентрация кальция в мышечных клетках обеспечивает их нормальную возбудимость и сократимость, что важно для поддержания мышечного тонуса и двигательной активности.

Кальций также участвует в регуляции минерального обмена в организме, взаимодействуя с другими важными элементами, такими как фосфор, магний и витамин D. Паратиреоидный гормон (ПТГ) и кальцитонин являются основными регуляторами обмена кальция, контролируя его всасывание в кишечнике, реабсорбцию в почках и высвобождение из костной ткани. Витамин D необходим для нормального всасывания кальция в кишечнике и его включения в костный матрикс. Недостаточное потребление кальция с пищей или нарушения его метаболизма могут приводить к различным патологиям костно-суставной системы.

Дефицит кальция может вызывать остеопороз – системное заболевание скелета, характеризующееся снижением костной массы и нарушением микроархитектоники костной ткани, что приводит к повышенной хрупкости костей и увеличению риска переломов. У детей и подростков недостаток кальция может приводить к задержке роста и формирования скелета, а также к развитию рахита.

Цезий является щелочным металлом, который в организме человека может оказывать влияние на различные системы, в том числе на костно-суставную.

Хотя физиологическая роль цезия в организме до конца не изучена, известно, что он может замещать калий в биологических процессах, что обусловлено сходством их химических свойств [2]. В настоящее время влияние цезия на костно-суставную систему является предметом научных исследований. Некоторые данные свидетельствуют о том, что повышенное содержание цезия в организме может приводить к нарушениям минерального обмена и влиять на процессы ремоделирования костной ткани. Ремоделирование костной ткани – это постоянный процесс, в ходе которого старая костная ткань заменяется новой. Данный процесс регулируется сложным взаимодействием различных клеток, в том числе остеобластов, отвечающих за формирование новой костной ткани, и остеокластов, разрушающих старую кость.

Нарушение баланса между активностью остеобластов и остеокластов может приводить к изменениям плотности и прочности костной ткани. Исследования на животных показали, что длительное воздействие высоких доз цезия может приводить к снижению плотности костной ткани и увеличению риска переломов. Предполагается, что цезий может влиять на активность остеобластов и остеокластов, нарушая процессы формирования и резорбции костной ткани. Кроме того, цезий может конкурировать с кальцием за связывание с белками костного матрикса, что может

приводить к изменениям в структуре и свойствах костной ткани.

Особую опасность представляют радиоактивные изотопы цезия, такие как Цезий-137, который может попадать в организм человека в результате радиоактивного загрязнения окружающей среды. Цезий-137 имеет длительный период полураспада и способен накапливаться в костной ткани, что может приводить к длительному радиационному воздействию на костные клетки, что может увеличивать риск развития остеосаркомы – злокачественной опухоли костной ткани, а также других опухолей костей и суставов [3]. Несмотря на потенциальные негативные эффекты цезия на костно-суставную систему, в настоящее время недостаточно данных, чтобы сделать однозначные выводы о его влиянии на здоровье человека. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы лучше понять механизмы воздействия цезия на костную ткань и разработать меры по снижению его потенциального вреда.

Стронций является двухвалентным катионом, который по своим химическим свойствам близок к кальцию. В организме человека стронций может замещать кальций в различных биологических процессах, в том числе в костной ткани, где он способен влиять на процессы минерализации и ремоделирования костей. В последние годы интерес к стронцию в контексте здоровья костно-суставной системы значительно возрос, так как было обнаружено, что он может оказывать положительное влияние на метаболизм костной ткани. Исследования показывают, что стронций может стимулировать остеобластическую активность, то есть способствовать формированию новой костной ткани, и одновременно подавлять остеокластическую резорбцию, то есть замедлять разрушение старой костной ткани [4].

Механизм действия стронция на костную ткань связан с его способностью активировать кальций – чувствительный рецептор (CaSR) на поверхности остеобластов. Активация CaSR стронцием приводит к усилению пролиферации и дифференцировки остеобластов, что способствует увеличению образования новой костной ткани. Кроме того, стронций может подавлять активность остеокластов, снижая интенсивность резорбции костной ткани. Благодаря своим остеоанаболическим свойствам, стронций потенциально может использоваться в терапии остеопороза и других заболеваний, связанных со снижением плотности костной ткани. Например, лекарственный препарат на основе стронция – ранелат стронция – был разработан и применялся для лечения постменопаузального остеопороза у женщин. Клинические исследования показали, что ранелат стронция способствует увеличению минеральной плотности костной ткани и снижает риск переломов у пациентов с остеопорозом.

Однако, несмотря на потенциальные преимущества стронция в терапии остеопороза, его применение также связано с определенными рисками. Избыточное поступление стронция в организм может приводить к нарушениям минерального обмена и увеличивать риск развития остеомаляции – заболевания, характеризующегося размягчением и деформацией костей вследствие недостаточной минерализации костного матрикса [5]. Кроме того, длительное применение высоких доз стронция может приводить к изменениям в структуре костной ткани, что потенциально может увеличивать риск атипичных переломов. В связи с этим, использование препаратов стронция требует тщательного мониторинга и контроля со стороны врача.

Степень разработанности темы в отечественной и зарубежной литературе достаточно высока. Существует множество исследований, посвященных роли кальция, цезия и стронция в функционировании костно-суставной системы, а также их содержанию в различных компонентах окружающей среды и пищевых продуктах. Однако, несмотря на значительный объем накопленных данных, недостаточно изучены региональные особенности содержания этих элементов и их влияние на здоровье населения конкретных территорий, в частности Орловской области. Проблема исследования заключается в необходимости комплексного анализа соответствия содержания кальция, цезия и стронция в почвах, природных водах и пищевых продуктах Орловской области и их влияния на возникновение патологий костно-суставной системы у жителей региона.

Целью исследования является анализ соотношения содержания кальция, цезия и стронция в почвах, природных водах и пищевых продуктах Орловской области и оценка их влияния на возникновение патологий костно-суставной системы у жителей Орловской области.

МЕТОДЫ

Данными для анализа являются описательно-оценочные эпидемиологические исследования, в частности данные статистических наблюдений. Материалами исследования послужили обобщенные официальные данные ежегодной медицинской статистики (ф. № 7, 35) в динамике за шесть последних лет. Материалами исследования о случаях заболеваний костно-суставной системы и онкологической заболеваемости в РФ, ЦФО и Орловской области являлись учетные и отчетные статистические данные: анализу подверглись показатели заболеваемости населения на 100 тыс. человек. Проведен ретроспективный эпидемиологический анализ, материалами для которого стали данные ежегодной медицинской статистики в динамике с 2018 по 2023 годы.

Учитывая, что медицинское облучение (рентгеновские лучи) влияют на патогенез, в том числе рака кости, в материалах исследования также использовались данные рентгенологических процедур, регистрируемых официальной ежегодной медицинской статистикой (ф. № 30) и данных годовых № 3-ДОЗ форм федерального государственного статистического наблюдения по Орловской области, предоставляемых лечебно-профилактическими учреждениями.

Для математической обработки исходных данных использованы общепринятые статистические подходы, к которым также относились факторный и компонентный анализы. Они позволили отбирать наиболее существенные признаки и изучать приемлемый набор показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные масштабные исследования показали, что содержание цезия-137 в почвах региона варьируется в диапазоне от 0,1 до 5,7 Ки/км^2, при этом наибольшие уровни загрязнения наблюдаются в северных районах Орловской области. Средние значения удельной активности стронция-90 в почвах составляют 0,02–0,05 Ки/км^2.

Средняя удельная активность кальция-40 в почвах региона составляет около 20 Бк/кг, что соответствует типичным значениям для данной местности.

Имеющиеся научные данные свидетельствуют о присутствии в почвах Орловской области как техногенных радионуклидов (цезий-137, стронций-90), так и природных (кальций-40), при этом уровни загрязнения в целом находятся в допустимых пределах [6].

Среднее содержание стронция-90 в поверхностных водах Орловской области составляет около 2,5 Бк/л, а максимальные значения не превышают 5 Бк/л. Концентрации цезия-137 в водных объектах региона находятся на уровне менее 0,5 Бк/л [7].

Средняя удельная активность кальция-40 в поверхностных водах составляет около 0,03 Бк/л, что соответствует естественному радиационному фону.

Средняя удельная активность кальция-40 в молочных продуктах составляет около 50 Бк/кг, в мясных продуктах – 30 Бк/кг, в хлебобулочных изделиях – 20 Бк/кг, что соответствует естественному радиационному фону [8].

Среднее содержание цезия-137 в зерновых культурах, выращенных в регионе, составляет около 5 Бк/кг, а в молочной продукции – менее 1 Бк/л. Уровни стронция-90 в продуктах питания находятся в пределах 0,1–0,5 Бк/кг или Бк/л.

Цезий-137 после попадания в организм более или менее равномерно распределяется по всему организму, с наибольшей концентрацией в мягких тканях, но также накапливается в печени и селезёнке.

Стронций-90, являющийся одной из основных причин костно-суставных патологий, накапливается преимущественно в метафизах трубчатых костей и в спонгиозном слое кости. Там развиваются наиболее глубокие изменения в виде прогрессирующего нарушения костеобразования в процессе физиологической перестройки костной ткани с формированием незрелых и атипичных костных структур. При длительном поступлении стронция-90 в организм даже в относительно небольших количествах в результате непрерывного облучения бета-излучением костной ткани может развиваться рак костей (таблицы 1, 2, 3).

Таблица 1 – Заболеваемость раком костей в РФ в 2018–2024 годы (на 100 тыс. населения)

Table 1 – Bone cancer incidence in the Russian Federation in 2018–2024 (per 100 thousand population)

Локализация, нозологическая форма / Localization, nosological form	Годы / Years						
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Мужчины («грубые» показатели на100 тыс. населения) / Men (rough figuresper 100,000 population)							
Кости и суставные хрящи / Bones and articular cartilage	1,08	1,13	1,03	1,04	1,03	0,95	1,03
Женщины («грубые» показатели на 100 тыс. населения) / Women (rough figuresper 100,000 population)							
Кости и суставные хрящи / Bones and articular cartilage	0,85	0,82	0,82	0,77	0,81	0,81	0,80

Таблица 2 – Заболеваемость раком костей в ЦФО в 2018–2024 годы (на 100 тыс. населения)

Table 2 – Bone cancer incidence in the Central Federal District in 2018–2024 (per 100 thousand population)

Локализация, нозологическая форма / Localization, nosological form	Годы / Years						
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Мужчины («грубые» показатели на100 тыс. населения) / Men (rough figuresper 100,000 population)							
Кости и суставные хрящи / Bones and articular cartilage	0,94	0,95	0,96	0,91	0,86	0,81	0,85
Женщины («грубые» показатели на 100 тыс. населения) / Women (rough figuresper 100,000 population)							
Кости и суставные хрящи / Bones and articular cartilage	0,73	0,76	0,85	0,66	0,65	0,56	0,73

Таблица 3 – Заболеваемость раком костей в Орловской области в 2018-2024 годы (на 100 тыс. населения)

Table 3 – Bone cancer incidence in the Oryol region in 2018-2024 (per 100 thousand population)

Локализация, нозологическая форма / Localization, nosological form	Годы / Years						
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Мужчины («грубые» показатели на100 тыс. населения) / Men (rough figuresper 100,000 population)							
Кости и суставные хрящи / Bones and articular cartilage	1,79	1,80	0,30	1,23	1,56	1,26	0,96
Женщины («грубые» показатели на 100 тыс. населения) / Women (rough figuresper 100,000 population)							
Кости и суставные хрящи / Bones and articular cartilage	0,49	0,74	0,25	0,76	0,52	0,00	0,80

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты комплексного анализа содержания кальция, цезия и стронция в различных компонентах окружающей среды Орловской области (почвах, природных водах и пищевых продуктах) показали, что уровни техногенных радионуклидов цезия-137 и стронция-90, а также природного радионуклида кальция-40 в целом находятся в допустимых пределах и не представляют существенной радиационной опасности для населения. Вместе с тем, выявлены отдельные районы с повышенным содержанием цезия-137 в почвах, требующие дальнейшего изучения и мониторинга.

В регионе отмечается устойчивый рост заболеваемости остеопорозом и остеопенией среди взрослого населения. Статистика свидетельствует о повышение заболеваемости данными патологиями среди жителей Орловской области, особенно среди женщин старшего возраста.

Официальные статистические данные подтверждают возрастание заболеваемости остеоартрозом и остеоартритом среди проживающих в Орловском регионе, особенно среди лиц пожилого и трудоспособного возраста.

Кроме того, статистика фиксирует увеличение заболеваемости анкилозирующим спондилитом.

Проведенное исследование показало, что проблема заболеваемости костно-суставной системы, в том числе рака кости, является актуальной для Орловской области, ЦФО, РФ и в целом для всего мира. За последние годы отмечается возрастание распространения данной патологии, что обусловлено как тенденцией к росту заболеваемости, так и увеличением продолжительности жизни ряда категорий больных в результате терапии.

Несмотря на относительную редкость, опухоли костей существенно влияют на здоровье пациентов и результаты лечения. Стандартизованные показатели частоты заболеваемости опухолями костной системы, по данным крупнейших клиник мира, для мужчин – 0,8–3,0, а для женщин – 0,6-2,3 на 100 000 населения.

На эпидемиологию опухолей костей влияют такие факторы, как возраст, пол, географическое положение и генетическая предрасположенность.

Последние достижения в области визуализации улучшили выявление этих опухолей, что способствует росту их распространенности. Мировые данные показывают, что распространенность злокачественными опухолями костей за короткий промежуток времени значительно выросла. Этот показатель вырос с 0,00069 % в 2000 году до 0,00749 % в 2023, что свидетельствует о более частом выявлении и диагностике этих редких опухолей с течением времени.

Показатели выживаемости значительно различаются в зависимости от типа опухоли: примерно 50–60 % для остеосаркомы и около 70 % для саркомы Юинга, хотя при наличии метастазов эти показатели снижаются.

По результатам исследования можно сформулировать следующие предложения:

1. Продолжить регулярный мониторинг радиационной обстановки в Орловской области, уделяя особое внимание районам с повышенным содержанием цезия-137 в почвах.

2. Усилить меры по профилактике и раннему выявлению заболеваний костно-суставной системы среди населения региона, особенно в группах риска.

3. Повысить информированность жителей Орловской области о факторах риска развития патологий костно-суставной системы и важности своевременной диагностики и лечения этих заболеваний.

4. Провести дополнительные исследования для выявления других потенциальных причин роста.

5. Провести дополнительные исследования для выявления других потенциальных причин роста заболеваемости патологиями костно-суставной системы в Орловской области, помимо возрастных факторов и нарушений обмена веществ. Необходимо изучить влияние экологической ситуации, особенностей питания, уровня физической активности и других факторов образа жизни жителей региона.

6. Разработать и внедрить комплексную программу по укреплению здоровья костно-суставной системы населения Орловской области, включающую мероприятия по оптимизации питания, повышению двигательной активности, профилактике травматизма и других негативных воздействий.

Результаты проведенного исследования вносят вклад в понимание радиационной обстановки и эпидемиологической ситуации в Орловской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Содержание цезия-137 и стронция-90 в почвах, природных водах и пищевых продуктах Орловской области в целом находится в допустимых пределах и не представляет существенной радиационной опасности для здоровья населения. Однако в отдельных районах области наблюдаются повышенные концентрации цезия-137, требующие проведения дополнительных исследований и мониторинга.

2. Уровни природного радионуклида кальция-40 в окружающей среде и продуктах питания региона соответствуют естественному радиационному фону и не вызывают опасений.

3. Статистические данные свидетельствуют о росте заболеваемости остеопорозом, остеопенией, остеоартрозом, остеоартритом, а также другими патологиями костно-суставной системы среди жителей Орловской области, особенно среди лиц пожилого и трудоспособного возраста.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов для разработки мер по профилактике и своевременному лечению патологий костно-суставной системы у жителей Орловской области, а также для оптимизации мониторинга содержания кальция, цезия и стронция в окружающей среде и пищевых продуктах региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутенина С.Ю., Симонова В.Г. Этиология злокачественных новообразований // Международный студенческий научный вестник. 2023. № 2. С. 89–98.

2. Цурко В.В., Егоров И.В. Остеопороз, остеоартроз и кальциноз – сочетанная патология. Перспективы лечения // Клиническая геронтология. 2015. № 5–6. С. 75–78.

3. Симонова В.Г., Озерова С.Р., Колесова С.С. Анализ соотношения кальция к стронцию в почвах, природных водах, и их влияние на костно-суставную систему жителей Орловской области // Международный студенческий научный вестник. 2023. № 6. С. 74–78.

4. О соотношении кальция к стронцию в почвах, природных водах и растениях ряда районов России / У.А. Гуляева [и др.]. Москва : ГЕОХИ РАН, 2016. 282 с.

5. Андрияшина Т.В. Содержание радионуклидов в почве Орловской области // Вестник Казанского технологического университета. 2022. № 10. С. 73–76.

6. Симонова В.Г. Анализ онкологической заболеваемости населения Орловской области // Санитарный врач. 2023. № 12. С. 98–104.

7. Симонова В.Г., Бубликова Л.И. Ретроспективный анализ радиационной обстановки на территории Орловской области // Радиационная гигиена. 2020. № 13. С. 67–73.

8. Чащин В.П., Иванова О.М., Иванова М.А. Медико-экологические аспекты связи расстройств функциональных систем человека с содержанием микроэлементов бария и стронция // Экология человека. 2019. № 4. С. 90–99.

9. Деркач А.А., Маслова А.В., Симонова В.Г. Методы профилактики неинфекционных заболеваний // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов. Пенза : МНИЦ ПГАУ. 2022. С. 73–77.

10. Рискориентированный подход к радиационной безопасности пищевых продуктов / Р.Р. Магомедова [и др.] // Международный студенческий научный вестник. 2023. № 6. С. 112–117.

11. Дюсенова Ш.Т. Динамика кальция в природной системе «вода-почва-растения» как фактор ее устойчивости // Студенческий научный форум-2022 : материалы XIII Международной студенческой научной конференции. Москва : Вестник Медицинского института "Реавиз". 2023. № 1. С. 380–387.

12. Крымова Т.Г., Колкутин В.В., Добровольская М.В. Диагностика природных условий проживания на основании результатов содержания различных химических элементов в костной ткани // ПЭМ. 2007. № 2. С. 16–22.

13. Маковский Р.Д. Стабильный стронции в питьевой воде // ЗНиСО. 2017. № 9. С. 117–123.

14. Комплексная оценка и прогнозирование влияния радиационного фактора на здоровье отдельных категорий населения / Ефанова С.Ю. [и др.] // Международный студенческий научный вестник. 2023. № 6. С. 74–80.

15. Широпятова А.Ю., Симонова В.Г. Оценка влияния радиоактивного загрязнения пищевых продуктов животного и растительного происхождения на качество протекания физико-химических процессов // Международный студенческий научный вестник. 2023. № 6. С. 54–59.

Информация об авторах

В. Г. Симонова – доцент, кандидат медицинских наук, доцент кафедры общественного здоровья, здравоохранения и гигиены, докторант кафедры промышленной химии и биотехнологии по научной специальности 4.3.3. Пищевые системы ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева».

REFERENCES

1. Butenina, S.Yu. & Simonova, V.G. (2023). Etiology of malignant neoplasms. *International Student Scientific Bulletin*, (2), 89-98. (In Russ.).

2. Tsurko, V.V. & Egorov, I.V. (2015). Osteoporosis, osteoarthrosis and calcinosis - combined pathology. Treatment prospects. *Clinical gerontology*, (5), 75-78. (In Russ.).

3. Simonova, V.G. & Ozerova, S.R. (2023). Analysis of the calcium to strontium ratio in soils, natural waters, and their impact on the musculoskeletal system of residents of the Oryol region. *International Student Scientific Bulletin,* (6), 74-78. (In Russ.).

4. Gulyaeva, U.A. (2016). On the ratio of calcium to strontium in soils, natural waters and plants of a number of regions of Russia. Moscow : GEOKHI RAS. (In Russ.).

5. Andryashina, T.V. (2022). Content of radionuclides in the soil of the Oryol region. *Bulletin of the Kazan Technological University,* (10), 73-76. (In Russ.).

6. Simonova, V.G. (2023). Analysis of oncological morbidity of the population of the Oryol region. *Sanitary doctor,* (12), 98-104. (In Russ.).

7. Simonova, V.G. & Bublikova, L.I. (2020). Retrospective analysis of the radiation situation in the Oryol region. *Radiation Hygiene,* (13), 67-73. (In Russ.).

8. Chashchin, V.P. & Ivanova, O.M. (2019). Medical and ecological aspects of the relationship between disorders of human functional systems and the content of trace elements barium and strontium. *Human Ecology,* (4), 90-99. (In Russ.).

9. Derkach, A.A. & Maslova, A.V. Methods of prevention of non-infectious diseases. *Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference of young scientists and students.* Penza: MNITS PGAU. (In Russ.).

10. Magomedova, R.R. (2023). Risk-oriented approach to radiation safety of food products. *International Student Scientific Bulletin, (*6). 112-117. (In Russ.).

11. Dyusenova, Sh.T. Calcium dynamics in the natural system "water-soil-plants" as a factor of its stability. *Student Scientific Forum-2022: Proceedings of the XIII International Student Scientific Conference*. Moscow : Bulletin of the Medical Institute "Reaviz". (In Russ.).

12. Krymova, T.G. & Kolkutin, V.V. (2007). Diagnostics of natural living conditions based on the results of the content of various chemical elements in bone tissue. *TEM,* (2), 16-22. (In Russ.).

13. Makovsky, R.D. (2017). Stable strontium in drinking water. *ZNISO,* (9), 117-123. (In Russ.).

14. Efanova, S.Yu. (2023). Comprehensive assessment and forecasting of the impact of the radiation factor on the health of individual categories of the population. *International Student Scientific Bulletin.* 2023, (6), 74-80. (In Russ.).

15. Shiropyatova, A.Yu. & Simonova, V.G. (2023). Assessment of the impact of radioactive contamination of food products of animal and plant origin on the quality of physical and chemical processes. *International Student Scientific Bulletin*, (6), 54-59. (In Russ.).

Information about the authors

V.G. Simonova - Associate Professor, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Public Health, Healthcare and Hygiene, Doctoral Candidate of the Department of Industrial Chemistry and Biotechnology in the scientific specialty 4.3.3. Food Systems of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Oryol State University named after I.S. Turgenev".

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 127–134.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 127–134.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 613.262 : 634.7
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.019 EDN: AOJVOZ

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ЭКСТРАКТОВ НЕКОТОРЫХ ПЛОДОВ РОДА CRATAEGUS, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ

Анна Владимировна Жебо

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия
zhebo.av@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3142-2188

Аннотация. *Статья посвящена исследованию биологической ценности экстрактов плодов некоторых видов рода Crataegus, произрастающих в Хабаровском крае: боярышник перистонадрезанный C. pinnatifida Bunge, боярышник Максимовича C. maximowiczii C.K. Schneid, боярышник даурский C. dahurica Koehne ex C. K. Schneid, боярышник зеленомясый C. chlorosarca Maxim. и боярышник кроваво-красный C. sanguinea Pall. Плоды боярышника являются богатым источником биологически активных веществ, включая флавоноиды (0,34–0,94 % в пересчете на рутин), витамины С (28–31,7 мг/100г), B_1(0,09–0,12 мг/100г), B_2 (0,12–0,15 мг/100г), β-каротина (2,12–2,34 мг/100г). Наблюдаются выраженные межвидовые различия по органолептическим (размер, цвет, мякоть, вкусовые характеристики), а также по физико-химическим показателям, в том числе биологической ценности. Предложенный вариант сушки плодов и водной экстракции с использованием нагрева в поле сверхвысоких частот (гидромодуль 1 : 50, температура 65±2 °С, удельная мощность 1,5 кВт/кг (при КПД 70 %), частота 2450±10 МГц; 3 ступени обработки с чередованием нагрева (30 сек) и охлаждения (на 10–15 °С) позволяет сохранить более 80 % биологически активных веществ и получить экстракт для обогащения пищевых продуктов. Установлено, что плоды обладают значительным ресурсным потенциалом в регионе (40 % биологического запаса Дальнего Востока), который пока освоен лишь частично. Результаты работы могут быть использованы для разработки технологий извлечения полезных веществ и создания функциональных продуктов питания и лекарственных средств.*

Ключевые слова: *биологическая ценность, плоды боярышника, C. pinnatifida Bunge, C. maximowiczii C.K. Schneid, C. dahurica Koehne ex C. K. Schneid, C. chlorosarca Maxim., C. sanguinea Pall, экстракты, функциональные продукты.*

Для цитирования: Жебо А. В. Биологическая ценность экстрактов некоторых плодов рода Crataegus, произрастающих в Хабаровском крае // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 127–134. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.019. EDN: https://elibrary.ru/AOJVOZ.

Original article

BIOLOGICAL VALUE OF EXTRACTS OF SOME FRUITS OF GENUS CRATAEGUS GROWING IN KHABAROVSK KRAI

Anna V. Zhebo

Pacific National University, Khabarovsk, Russia
zhebo.av@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3142-2188

Abstract. *The article is devoted to the study of biological value of extracts of fruits of some species of the genus Crataegus, growing in Khabarovsk Krai: hawthorn pinnatifida C. pinnatifida Bunge, hawthorn Maksimovich C. maximowiczii C.K. Schneid, hawthorn Daurian C. dahurica Koehne ex C.K. Schneid, Dahur hawthorn C. dahurica Koehne ex C. K. Schneid, green-moss hawthorn C. chlorosarca Maxim. and blood-red hawthorn C. sanguinea Pall. Hawthorn fruits are a rich source of biologically active substances, including flavonoids (0.34-0.94 % in terms of rutin), vitamins C (28-31.7 mg/100g), B1 (0.09-0.12 mg/100g), B2 (0.12-0.15 mg/100g), β-carotene (2.12-2.34 mg/100g). There are pronounced interspecific differences in organoleptic (size, colour, pulp, taste characteristics), as well as in physico-chemical parameters, including biological value. The proposed variant of fruit drying and water extraction using heating in the field of ultrahigh frequencies (hydromodule 1 : 50, temperature 65±2°C, specific power 1.5 kW/kg (at 70 % efficiency), frequency 2450±10 MHz; 3 stages of processing with alternating heating (30 sec) and cooling (by 10-15°C) allows to preserve more than 80 % of biologically active substances and to obtain extract for enrichment of food products. It was found that the fruits have a significant resource potential in the region (40 % of the biological reserve of the Far East), which is still only partially developed. The results of the work can be used for the development of technologies for extraction of useful substances and creation of functional foods and medicines.*

© Жебо А. В., 2026

Keywords: *biological value, hawthorn fruits, hawthorn pinnatifolia C. pinnati-fida Bunge, Maksimovich hawthorn C. maximowiczii C.K. Schneid, Daurian hawthorn C. dahurica Koehne ex C. dahurica Koehne. Schneid, Daurian hawthorn C. dahurica Koehne ex C. K. Schneid, green hawthorn C. chlorosarca Maxim. and blood-red hawthorn C. sanguinea Pall, extracts, functional products.*

For citation: Zhebo A. V. (2026). Biological value of extracts of some fruits of genus *Crataegus* growing in Khabarovsk krai. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 127-134. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.019. EDN: https: // elibrary.ru/AOJVOZ.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из задач Доктрины продовольственной безопасности [1] является обеспечение доступности продуктов, отвечающим рациональным нормам питания для ведения активного и здорового образа жизни.

В последнее время многие исследователи уделяют внимание минорным биологически активным компонентам, играющим роль экзогенных регуляторов метаболизма и входящим в нутриом [2]. Эти компоненты преимущественно имеют растительное происхождение, однако сегодня в рационе питания большого числа потребителей их недостаточно и необходима корректировка пищевых привычек либо обогащение привычных продуктов необходимым количеством биологически активных веществ.

Богатым источником минорных биологически активных веществ являются дикорастущие растения, запасы которых достаточно велики и не используются в полной мере. Так, на Дальнем Востоке произрастает 125 безусловно съедобных видов дикорастущих растений, из них 60 видов – ягодные растений и только 22 вида ягод экономически освоены [3].

Род Crataegus достаточно изучен исследователями [4], преимущественно с целью применения в лекарственных целях, однако имеются существенные межвидовые различия в строении и составе. На территории Дальнего Востока распространены пять видов боярышника рода *Crataegus*: боярышник перистонадрезанный *C. pinnatifida Bunge*, боярышник Максимовича *C. maximowiczii C.K. Schneid*, боярышник даурский C. *dahurica Koehne ex C. K. Schneid*, боярышник зеленомясый C*. chlorosarca Maxim.* и боярышник кроваво-красный *C. sanguinea Pall*.

Коренные малочисленные народы, проживающие на Дальнем Востоке, традиционно использовали в рационе питания плоды боярышника в свежем виде и заготавливая их в сушеном для приготовления отваров в течение года. В диалектах народностей боярышник имеет свои названия: в нанайском диалекте – «джарикта, опакта», ульчском – «дяракта», в нивском – «хызм», орочском – «дярякта», удэгейском – «заликта, кысм» [5]. Не все дикорастущие культуры имеют свое название в диалектах, но боярышник представлен во всех, что говорит о его традиционно широком использовании.

Биологический запас плодов всех видов боярышника оценивается около 100 тыс. т. (в сырой массе). В Хабаровском крае произрастает 40 % биологического запаса плодов боярышника, от всего запаса Дальнего Востока [6].

Кроме плодов в пищевых целях можно использовать листья (как суррогат чая), в медицине используются настои цветков, антоцианы и дубильные вещества коры пригодны для окрашивания тканей и кожи, древесина обладает высокими прочностными характеристиками.

Плоды боярышника имеют большое лекарственное значение благодаря кардиотоническому действию, для лечения артериальной гипертонии, ишемической болезни сердца, атеросклероза, хронической сердечной недостаточности и др. [7].

Богатый химический состав и привлекательные вкусовые характеристики позволяют рассматривать плоды боярышника как сырье для обогащения пищевых продуктов биологически активными веществами. Вносить плоды можно в виде порошка высушенных плодов или в виде экстрактов. Широко используются способы спиртовой экстракции, однако они не всегда применимы к пищевым продуктам для широких слоев населения, в том числе для детей.

Целью исследования явилось изучить межвидовые различия химического состава плодов боярышника рода *Crataegus*, обуславливающих биологическую активность для последующего внесения в пищевые продукты. Для достижения поставленной цели проводили оценку качества и физико-химического состава свежего сырья, подвергшегося естественной сушке, и экстрактов.

МЕТОДЫ

Объектами исследований явились плоды некоторых дикорастущих культур рода Crataegus, произрастающих в Хабаровском крае, а именно: боярышник перистонадрезанный C. pinnatifida Bunge, боярышник Максимовича C. maximowiczii C.K. Schneid, боярышник даурский C. dahurica Koehne ex C. K. Schneid, боярышник кроваво-красный *C. sanguinea Pall*, боярышник зеленомясый C. chlorosarca Maxim. (образец собран на о. Сахалин).

Плоды собирали в стадии потребительской зрелости в период с 2015 по 2024 гг., в исследовании приведены усредненные данные в разрезе видов.

Определяли органолептические (внешний вид, цвет, запах, вкус) и физико-химические показатели (влажность, массовая доля суммы флаваноидов, золы, углеводов, витаминов С, B_1, B_2, β-каротина, титруемой кислотности) свежего сырья и естественной сушки.

Высушенное и измельченное до 2 мм сырье, экстрагировали водой с нагревом в поле сверхвысоких частот (СВЧ) ступенчатым режимом нагрева и охлаждения, позволяющим максимально сохранить биологически активные вещества (БАВ): гидромодуль – 1 : 50, температура – 65±2 ºС, удельная мощность – 1,5 кВт/кг (при КПД 70 %), частота – 2450±10 МГц; 3 ступени обработки с чередованием нагрева (30 сек) и охлаждения (на 10–15 ºС) [8–9].

В полученных экстрактах определяли органолептические с применением балльной оценки по 5-балльной шкале (внешний вид, прозрачность, вкус, аромат, цвет) и физико-химические (массовая доля сухих веществ, углеводов, золы, суммы флаваноидов, золы, углеводов, содержание витаминов С, B_1, B_2, β-каротина, титруемой кислотности) показатели. Методы исследования стандартные: определение массовой доли влаги и сухих веществ по ГОСТ 28561-90, массовая доля золы по ГОСТ 25555.4-91, титруемая кислотность по ГОСТ ISO 750-2013, pH по ГОСТ 26188, массовая доля углеводов по ГОСТ 875613-87, массовая доля суммы флаваноидов по ГОСТ 3852, содержание витаминов B_1 и B_2 флуориметрическим методом по методике М 04-56-2009, витамина С по ГОСТ 24556-89, β-каротина по ГОСТ 8756.22-80.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Плоды боярышника представляют собой плод-яблоко, в зависимости от вида различной чаще шаровидной формы, небольшого размера около 10 мм в диаметре, с хорошо выделенной верхней кольцевой оторочкой из ссохшихся чашелистиков. Внутри плода в мякоти находятся крупные косточки 1–5 шт. различной формы. Межвидовые различия (таблица 1) по ряду показателей незначительны, например, по внешнему виду образцы отличаются размером плода и чашелистиками, окраска в красных тонах различной интенсивности. Мякоть различается сильно по консистенции, сочности и цвету. Вкус и запах всех образцов очень схожи, что позволяет смешивать партии от различных видов без особенностей.

Таблица 1 – Органолептические показатели плодов боярышника (*Crataegus)*

Table 1 – Organoleptic parameters of hawthorn fruits (*Crataegus)*

Наименование образца	Внешний вид	Цвет	Вкус и запах
Боярышник перистонадрезанный *C. pinnatifida Bunge*	плод-яблоко шаровидной формы, около 15 мм в диаметре, с хорошо выделенной верхней кольцевой оторочкой из пяти ссохшихся чашелистиков. Внутри плода в мякоти находятся крупные косточки 3–5 шт. различной формы. Мякоть плотная	Плоды ярко-красные со светлыми вкраплениями на кожице. Мякоть красно-желтая	сладковатый, характерный, выраженный
Боярышник Максимовича *C. maximowiczii C.K. Schneid*	плод-яблоко шаровидной формы, около 10 мм в диаметре, с хорошо выделенной верхней кольцевой оторочкой из 5–6 ссохшихся чашелистиков. Внутри плода в мякоти находятся крупные косточки 3–5 шт. различной формы. Мякоть рыхлая, мучнистая	Плоды красные, мякоть желтовато-янтарная	сладковатый, характерный, слабо выраженный
Боярышник даурский *C. dahurica Koehne ex C. K. Schneid*	Плод-яблоко шаровидной формы, диаметром 12–15 мм, чашелистики широкие, 3–4 косточки удлиненной формы. Мякоть мягкая, сочная	Плоды красно-оранжевые, мякоть желтоватая	сладковатый, характерный, выраженный
Боярышник кроваво-красный C. sanguinea Pall	Плод-яблоко шаровидной формы, диаметром 12–15 мм, чашелистики узкие, 3–4 косточки удлиненной формы. Мякоть мягкая, сочная	Плоды пурпурно-красные, мякоть желтовато-красная	сладковатый, характерный
Боярышник зеленомясый *C. chlorosarca Maxim*	Плод-яблоко шаровидной формы, диаметром до 12 мм, чашелистики узкие, 3–4 косточки удлиненной формы. Мякоть мясистая, сочная	Плоды красно-бурые, мякоть зеленовато-желтая	сладковатый, характерный

После высушивания плодов органолептические показатели выравниваются и межвидовые различия становятся менее заметными, кроме размера. Следует отметить, что для плодов боярышника разработан и утвержден ГОСТ 3852-93 [10], где дополнительным показателем идентификации плодов является описание анатомического строения микроскопическим методом для предупреждения фальсификации.

Были исследованы физико-химические показатели свежих плодов и после высушивания (таблица 2).

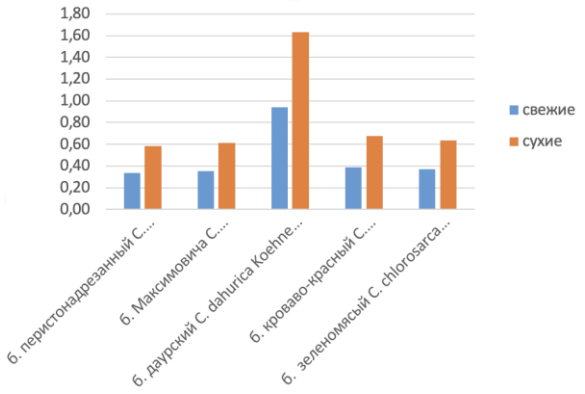
Таблица 2 – Физико-химические показатели плодов боярышника (*Crataegus)*

Table 2 – Physico-chemical parameters of hawthorn fruits (Crataegus)

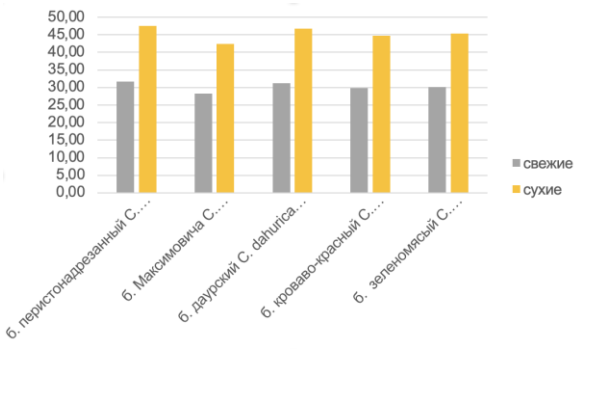
Наименование образца	Массовая доля сухих веществ, %		Массовая доля углеводов, %		Массовая доля золы, %		Титруемая кислотность, % (в пересчете на яблочную)	
	свежие	сухие	свежие	сухие	свежие	сухие	свежие	сухие
ГОСТ 3852	–	не менее 86,0		–		не более 3,0		-
Боярышник перистонадрезанный C. pinnatifida Bunge	30,4±0,3	86,00±0,3	13,90±0,2	26,55±0,2	1,79±0,02	2,83±0,02	1,97±0,2	3,35±0,02
Боярышник Максимовича C. maximowiczii C.K. Schneid	30,83±0,3	86,80±0,3	14,20±0,2	27,12±0,2	1,83±0,02	2,89±0,02	0,86±0,02	1,46±0,02
Боярышник даурский C. dahurica Koehne ex C. K. Schneid	28,82±0,3	86,40±0,3	14,10±0,2	26,93±0,2	1,92±0,02	3,03±0,02	2,05±0,02	3,49±0,02
Боярышник кроваво-красный *C. sanguinea Pall*	30,48±0,3	87,10±0,3	13,80±0,2	26,36±0,2	1,88±0,02	2,97±0,02	1,78±0,02	3,03±0,02
Боярышник зеленомясый C. chlorosarca Maxim.	31,03±0,3	86,80±0,3	14,30±0,2	27,31±0,2	1,93±0,02	3,05±0,02	1,75±0,02	2,98±0,02

Как следует из полученных результатов, боярышник даурский меньше содержит сухих веществ, что связано с большим размером косточек и сочной мякотью. Количество углеводов в свежих плодах всех видов колеблется незначительно – от 13,8 до 14,3 %.

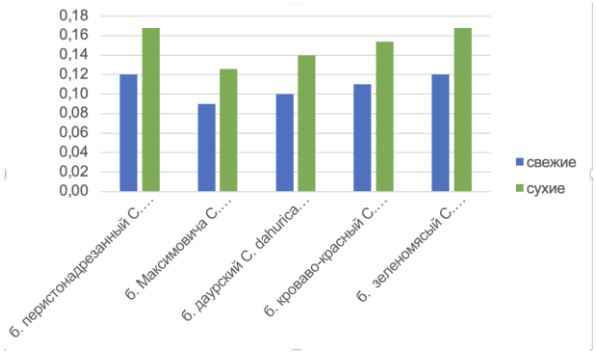
Сравнительная характеристика свежих и высушенных плодов боярышника по содержанию биологически активных веществ приведена на рисунке 1.



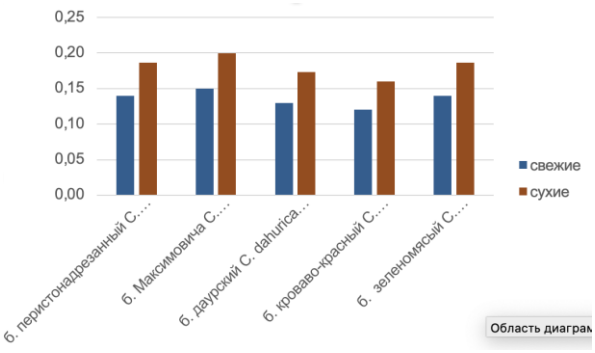
а) содержание флавоноидов (в пересчете на рутин),



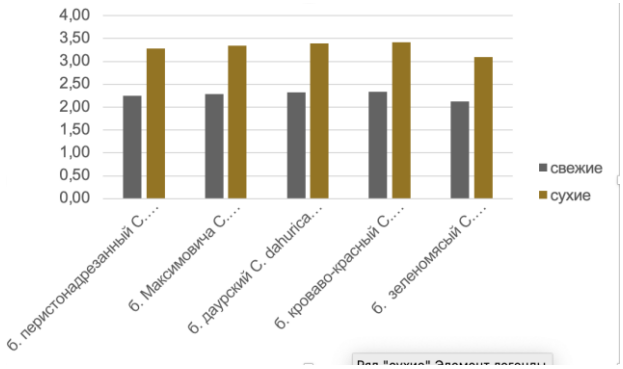
б) содержание витамина С, мг/100 г



в) содержание витамина B_1, мг/100 г



г) содержание витамина B_2, мг/100 г



д) содержание β-каротина, мг/100 г

Рисунок 1 – Содержание биологически активных веществ в плодах боярышника (*Crataegus)*

Figure 1 – Content of biologically active substances in hawthorn fruits (Crataegus)

Исследования показали, что плоды содержат более 30 % суточной потребности витамина С, B_1, B_2 и β-каротина, обладают высокой антиоксидантной активностью за счет содержания флавоноидов. При выбранном режиме сушки без дополнительного подведения тепла БАВ хорошо сохраняются, без значительных потерь.

Водные экстракты из плодов боярышника обладают приятными органолептическими показателями (рисунок 2), в меру выраженными, что позволяет вносить их в качестве обогащающей добавки в различные продукты без существенного изменения вкусовых и ароматических характеристик.

Предварительное измельчение сырья до размера 2 мм при выбранных режимах экстракции позволяет извлечь до 85 % экстрактивных сухих веществ, при этом настой сохраняет прозрачность с небольшой опалесценцией, с легким осадком при длительном хранении.

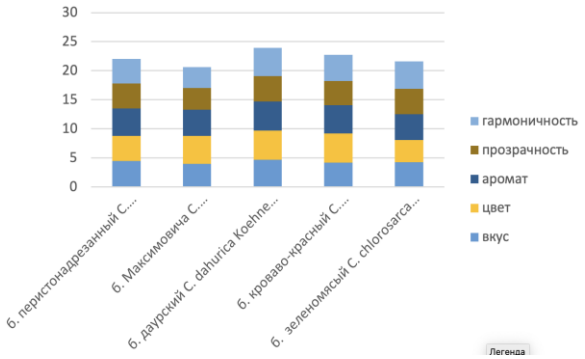


Рисунок 2 – Органолептическая оценка экстрактов из плодов боярышника (*Crataegus)*

Figure 2 – Organoleptic profile of extracts from hawthorn (Crataegus) fruits

Использование более мелких фракций порошка плодов боярышника не значительно влияет на выход экстрактивных веществ, но значительно замутняет экстракты.

Цвет экстрактов варьируется от желто-оранжевого до коричневого. Запах – характерный для плодов боярышника, без посторонних запахов, вкус сладковатый, обусловленный содержанием органических кислот, сахаров.

Определение физико-химических показателей, характеризующих биологическую ценность, приведено в таблице 3.

Результаты показали, что происхождение видов оказало значительное влияние ($P < 0{,}001$) в отношении химических характеристик (pH, титруемая кислотность, массовая доля экстрактивных веществ, углеводов, витамина С и β-каротина) плодов боярышника. Однако экстракты из всех видов подов боярышника содержат более 15 % суточной потребности витаминов С, B_1, B_2 и β-каротина.

Таблица 3 – Физико-химические показатели экстрактов плодов боярышника (*Crataegus)*

Table 3 – Physicochemical parameters of extracts of hawthorn (Crataegus) fruits

	массовая доля, %			титруемая кислотность, % *	сумма флавоноидов, % (на рутин)	витамин С, мг/100г	витамин В1, мг/100г	витамин В2, мг/100г	β-каротин, мг/100г
	сухих веществ	углеводов	золы						
Б. перисто-надрезанный C. pinnatifida Bunge	14,18±0,3	9,59±0,2	0,99±0,04	1,13±0,03	0,25±0,02	22,64±0,3	0,10±0,01	0,12±0,01	1,27±0,02
Б. Максимовича C. maximowiczii C.K. Schneid	14,34±0,3	9,79±0,2	1,02±0,04	0,49±0,04	0,26±0,02	20,21±0,3	0,08±0,01	0,13±0,01	1,29±0,02
Б. даурский C. dahurica Koehne ex C. K. Schneid	13,40±0,3	9,72±0,2	1,07±0,04	1,17±0,04	0,70±0,02	22,29±0,3	0,08±0,01	0,11±0,01	1,31±0,02
Б. кроваво-красный *C. sanguinea Pall*	14,18±0,3	9,52±0,2	1,04±0,04	1,02±0,04	0,29±0,02	21,29±0,3	0,09±0,01	0,10±0,01	1,32±0,02
Б. зеленомясый C. chlorosarca Maxim	14,43±0,3	9,86±0,2	1,07±0,04	1,00±0,04	0,27±0,02	21,57±0,3	0,10±0,01	0,12±0,01	1,20±0,02

* в пересчете на яблочную

ОБСУЖДЕНИЕ

Плоды боярышника (Crataegus spp.) представляют собой богатый источник биологически активных веществ, которые обладают значительным потенциалом для применения в медицине, косметологии и пищевой промышленности. Их химический состав включает широкий спектр соединений, обеспечивающих антиоксидантные, противовоспалительные и другие полезные свойства [11–15].

Плоды различных видов *Crataegus,* произрастающие на территории Хабаровского края, можно считать богатым источником антиоксидантов из-за их высокого фенольного состава и некоторых известных антиоксидантных соединений. Различные исследования показали, что среди антиоксидантов гиперозид, изокверцетин, эпикатехин, хлорогеновая кислота, кверцетин, рутин и протокатехиновые кислоты [16–18] Фенольные соединения играют ключевую роль в антиоксидантной активности плодов и обладают антибактериальными свойствами [19].

Условия окружающей среды, технологические режимы обработки могут влиять на физические характеристики, химический состав фенольных соединений и их антиоксидантную активность. Кроме того, на количество биологически активных соединений, таких как флавоноиды и фенольные кислоты, также влияют генетические различия между видами, в пределах одного и того же вида, и зрелость растительных органов при его сборе [20]. Различия в физико-химических характеристиках, фитохимических веществах и антиоксидантной активности среди различных видов *Crataegus* были хорошо задокументированы предыдущими исследованиями [21–22].

Температурные режимы обработки сильно влияют на антиоксидантную активность [23], предложенный в исследовании режим сушки и экстрагирования позволяет максимально сохранить биологически активные вещества.

Плоды боярышника 2 % титруемых органических кислот, среди которых можно выделить лимонную, яблочную, хининовую и аскорбиновую кислоты. Лимонная кислота является наиболее распространенной, за ней следуют яблочная и хининовая кислоты.

Плоды боярышника богаты микроэлементами, включая калий, магний, железо и цинк [24]. Эти минералы играют важную роль в поддержании метаболизма и здоровья сердечно-сосудистой системы [25].

Благодаря высокому содержанию антиоксидантов (флавоноидов и фенольных кислот), плоды боярышника защищают клетки организма от повреждений свободными радикалами. Они также обладают антибактериальной активностью, особенно против Staphylococcus aureus, благодаря повреждению клеточной стенки бактерий [26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большое количество исследований в последнее время показывает, что плоды боярышника могут стать новым естественным источником биологически активных веществ антиоксидантной направленности для включения в состав функциональных продуктов питания с широким спектром полезных свойств для здоровья человека [27].

Проведенные исследования химического состава видов боярышника, произрастающих в Хабаровском крае (боярышник перистонадрезанный C. pinnatifida Bunge, боярышник Максимовича C. maximowiczii C.K. Schneid, боярышник даурский C. dahurica Koehne ex C. K. Schneid, боярышник кроваво-красный *C. sanguinea Pall*, боярышник зеленомясый C. chlorosarca Maxim), показали, что виды несколько различаются по биологической ценности, но все являются ценным источником антиоксидантов. Впервые получены результаты химического состава для видов – боярышник Максимовича C. maximowiczii C.K. Schneid, боярышник даурский C. dahurica Koehne ex C. K. Schneid, позволяющие их идентифицировать и рекомендовать как ингредиент для функциональных продуктов питания.

Предложенная технология получения водных экстрактов позволяет сохранить биологическую ценность и использовать их для разработки функциональных продуктов питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». URL: http://kremlin.ru/acts/bank/45106.
2. Пищевые ингредиенты в продуктах питания: от науки к технологиям / под ред. В.А. Тутельяна, А.П. Нечаева, М.Г. Балыхина. 2-е изд., испр. и доп. М. : МГУПП, 2021. 664 с.
3. Нечаев А.А. Видовой состав и ресурсные характеристики дикорастущих съедобных ягодных растений российского Дальнего Востока / А.А. Нечаев // Использование и воспроизводство лесных ресурсов на Дальнем Востоке : Труды. Том Выпуск 39. Хабаровск : Федеральное бюджетное учреждение "Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства", 2016. С. 105–125. EDN DVRKHX.
4. Буданцев А.Л., Беленовская Л.М., Битюкова Н.В. Компонентный состав и биологическая активность Crataegus pinnatifida (Rosaceae) (обзор) // Химия растительного сырья, 2020. № 4. С. 31–58. URL: https://journal.asu.ru/cw/article/view/6612.
5. Усенко Н.В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока : справочная книга / авт. вступ. ст С.Д. Шлотгауэр. 3-е изд., перераб. и доп. Хабаровск : Издательский дом «Приамурские ведомости», 2009. 272 с.
6. Нечаев А.А. Ресурсы и освоение боярышника на Дальнем Востоке России / А.А. Нечаев // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока : материалы Всероссийской научной конференции, Хабаровск, 07–08 октября 2021 года / Отв. редактор А.Ю. Алексеенко. Хабаровск : Федеральное бюджетное учреждение "Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства", 2021. С. 48–60. EDN GTRERK.
7. Фармакологические и фармакотерапевтические свойства боярышника (Crataegus oxyacantha) / С.В. Сулейманова, М.Г. Абакаров, К.Ш. Ханахмедова, Р.М. Маллаева // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 4, № 3. С. 28–33. EDN YJAMVD.
8. Окара А.И. Технология и товароведная характеристика сывороточных экстрактов из плодово-ягодного сырья / А.И. Окара, А.В. Жебо // Вестник КрасГАУ. 2010. № 10(49). С. 174–178. EDN NAXEQX.
9. МВ-облучение плодов – один из эффективных способов интенсификации экстрагирования из них нутриентов / Ф.А. Ашурбекова, Б.М. Гусейнова, М.Д. Мукаилов, И.М. Ашурбеков // Проблемы развития АПК региона. 2020. № 1(41). С. 176–181. DOI: 10.15217/issn2079-0996.2020.1.176. EDN OBALWD.
10. ГОСТ 3852-93 Плоды боярышника. Технически условия : введ. 1995-01-01. Минск, 1993, 68 с.
11. Близняк О.В. Сравнительная оценка содержания витамина с в плодах боярышника кроваво-красного (Crataegus sanguinea Pall.) / О.В. Близняк, В.В. Уранова // Современные достижения химико-биологических наук в профилактической и клинической медицине : сборник научных трудов 2-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 02–03 декабря 2021 года. Санкт-Петербург : Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, 2021. С. 43–48. EDN KYEXBH.
12. Ашурбекова Ф.А. Технологические аспекты получения высококачественных экстрактов из плодов дикоросов / Ф.А. Ашурбекова, Б.М. Гусейнова, Т.И. Даудова // Пищевая промышленность. 2020. № 1. С. 18–22. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10005. EDN IUXOHZ.
13. Захаров В.Л. Сохранность биологически активных веществ в компотах из дикорастущих плодово-ягодных культур ЦЧР / В.Л. Захаров // Агропромышленные технологии Центральной России. 2016. № 1(1). С. 8–18. EDN XGPZSR.
14. Елисеева Л.И. Исследование качества напитков из боярышника / Л.И. Елисеева, Н.С. Михайлова, С.С. Толстяков // Наукосфера. 2022. № 3–2. С. 165–170. DOI: 10.5281/zenodo.6395696. EDN NJWTLI.
15. Martinelli F., Perrone A., Yousefi S., Papini A., Castiglione S., Guarino F., Cicatelli A., Aelaei M., Arad N., Gholami M., Salami S.A. Botanical, Phytochemical, Anti-Microbial and Pharmaceutical Characteristics of Hawthorn (*Crataegusmonogyna* Jacq.), Rosaceae. Molecules. 2021 Nov 30; 26(23):7266. doi: 10.3390/molecules26237266. PMID: 34885847; PMCID: PMC8659235.
16. Žugić A.; Đorđević S.; Arsić I.; Marković G.; Živković J.; Jovanović S.; Tadić V. Antioxidant activity and phenolic compounds in 10 selected herbs from *Vrujci Spa*, Serbia. *Ind. Crops Prod.* 2014, *52*, 519–527.
17. Liu P.; Kallio H.; Lü D.; Zhou C.; Yang B. Quantitative analysis of phenolic compounds in Chinese hawthorn (*Crataegus* spp.) fruits by high performance liquid chromatography-electrospray ionisation mass spectrometry. *Food Chem.* 2011, *127*, 1370–1377.

18. Zhang L.L., Zhang L.F. & Xu J.G. Chemical composition, antibacterial activity and action mechanism of different extracts from hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bge.). *Sci Rep* 10, 8876 (2020). https://doi.org/10.1038/s41598-020-65802-7.

19. Wang C.Y.; Chen C.T.; Wang S.Y. Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C. *Food Chem.* 2009, *117*, 426–431.

20. Zhang J., Chai X., Zhao F., Hou G., Meng Q. Food Applications and Potential Health Benefits of Hawthorn. Foods. 2022 Sep 15;11(18):2861. doi: 10.3390/foods11182861. PMID: 36140986; PMCID: PMC9498108.

21. Liu P. (2012). *Composition of Hawthorn (Crataegus spp.) fruits and leaves and emblic leafflower (Phyllanthus emblica) fruits* . University of Turku.

22. Qiang Lyu, Wanying Zheng, Qiyuan Shan, Lichuang Huang, Yiwen Wang, Lu Wang, Haodan Kuang, Muhammad Azam, Gang Cao. Expanding annotation of chemical compounds in hawthorn fruits and their variations in thermal processing using integrated mass spectral similarity networking, Food Research International, Volume 172, 2023, 113114, ISSN 0963-9969, https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113114.

23. Wu J., Peng W., Qin R., Zhou H. Crataegus pinnatifida: chemical constituents, pharmacology, and potential applications. Molecules. 2014 Jan 30;19(2):1685-712. doi: 10.3390/molecules19021685. PMID: 24487567; PMCID: PMC6271784.

24. Chunjie Yang, Xin Wang, Ju Zhang, Nan Li, Ruixiao Wu, Tian Wang, Wu Ding. Comparative metabolomic analysis of different-colored hawthorn berries (Crataegus pinnatifida) provides a new interpretation of color trait and antioxidant activity, LWT, Volume 163, 2022, 113623, ISSN 0023-6438, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113623.

25. Ma J.X., Yang W., Ng C.Y.J., Tang X.D., Wong S., Gan R.Y. & Zhong L. (2024). The hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bge.) fruit as a new dietary source of bioactive ingredients with multiple beneficial functions. *Food Frontiers*, 5, 1534–1558. https://doi.org/10.1002/fft2.413.

26. Alirezalu A., Ahmadi N., Salehi P., Sonboli A., Alirezalu K., Mousavi Khaneghah A., Barba F.J., Munekata P.E.S. & Lorenzo J.M. (2020). Physicochemical Characterization, Antioxidant Activity, and Phenolic Compounds of Hawthorn (*Crataegus* spp.) Fruits Species for Potential Use in Food Applications. *Foods*, *9*(4), 436. https://doi.org/10.3390/foods9040436.

27. Musa Özcan, Haydar Hacıseferoğulları, Tamer Marakoğlu, Derya Arslan, Hawthorn (Crataegus spp.) fruit: some physical and chemical properties, Journal of Food Engineering, Volume 69, Issue 4, 2005, Pages 409–413, ISSN 0260-8774, https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.032.

Информация об авторах

А. В. Жебо – кандидат технических наук, доцент высшей школы управления природными ресурсами Тихоокеанского государственного университета

REFERENCES

1. Decree of the President of the Russian Federation from 21.01.2020 № 20 ‘On Approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation’. URL: http://kremlin.ru/acts/bank/45106.

2. Tutelyan, V.A., Nechaev, A.P. & Balykhin, M.G. (2021). Food ingredients in food products: from science to technology : Handbook. Moscow : MGUPPP. (In Russ.).

3. Nechaev, A.A. (2016). Species composition and resource characteristics of wild edible berry plants of the Russian Far East. *Use and reproduction of forest resources in the Far East*, *(39), 105-125. (In Russ.).*

4. Budantsev, A.L., Belenovskaya, L.M.M. & Bityukova, N.V. (2020). Component composition and biological activity of Srataegus pinnatifida (Rosaceae). *Chemistry of ras-titelnyh raw materials*, (4), 31-58. *(In Russ.).* URL: https://journal.asu.ru/cw/article/view/6612.

5. Usenko, N.V. (2009). Trees, shrubs and lianas of the Far East : a reference book. Khabarovsk : Publishing House Priamurskie vedomosti. *(In Russ.).*

6. Nechaev, A.A. (2021). Resources and development of hawthorn in the Russian Far East. Intensification of use and reproduction of forests of Siberia and the Far East : *Proceedings of the All-Russian scientific conference, Khabarovsk, 07-08 October 2021* A.Yu. Alekseenko. Khabarovsk : Federal budgetary institution ‘Far Eastern Research Institute of Forestry’. *(In Russ.)*.

7. Suleymanova, S.V., Abakarov, M.G., Khanakhmedova, K.Sh. & Mallaeva, R.M. (2027). Pharmacological and pharmacotherapeutic properties of hawthorn (Crataegus oxyacantha). *Uspekhi sovremennoi nauki i obrazovanie*. (3), 28-33. *(In Russ.)*.

8. Okara, A.I. & Zhebo, A.V. (2010). Technology and commodity-breeding characteristics of whey ex-tracts from fruit and berry raw materials Vestnik KrasGAU, 10(49), 174-178. *(In Russ.)*.

9. Ashurbekov, F.A., Huseynova, B.M., Mukailov, M.D. & Ashurbekov, I.M. (2020). MV-irradiation of fruits - one of the effective ways of intensification of nutrients ex-traging from them. Problems of development of agro-industrial complex of the region, (1(41), 176-181. *(In Russ.)*. .DOI: 10.15217/issn2079-0996.2020.1.176.

10. Fruits of bog bilberry. Technical conditions. (1993). HOST 3852-93 from 01 January 1995. Minsk : Standarts Publishing House. *(In Russ.)*.

11. Bliznyak, O.V. & Uranova, V.V. (2021). Comparative evaluation of vitamin C content in the fruits of hawthorn blood-red (Srataegus sanguinea Pall.). *Modern achievements of chemical and biological sciences in preventive and clinical medicine : a collection of scientific papers of the 2nd All-Russian scientific-practical conference with international participation*. *St. Petersburg, 02-03 December 2021*. St. Petersburg: I.I. Mechnikov North-Western State Medical University. *(In Russ.)*.

12. Ashurbekova, F.A., Ashurbekova, F.A., Huseynova, B.M. & Daudova, T.I. (2020). Technological aspects of obtaining high quality extracts from wild fruits. Food Industry. (1). *(In Russ.)*. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10005.

13. Zakharov, V.L. (2016). Preservation of biologically active substances in compotes from wild fruit and berry crops of the CDR. Agroindustrial technologies of Central Russia, (1(1)), 8-18. *(In Russ.)*.

14. Eliseeva, L.I., Mikhailova, N.S. & Tolstyakov, S.S. (2022). Investigation of the quality of drinks from hawthorn. Naukosphere. (3-2), 165-170. *(In Russ.)*. DOI: 10.5281/zenodo.6395696.

15. Martinelli, F., Perrone, A., Yousefi, S., Papini, A., Castiglione, S., Guarino, F., Cicatelli, A., Aelaei, M., Arad, N., Gholami, M. & Salami, S.A. (2021). Botanical, Phytochemical, Anti-Microbial and Pharmaceutical Characteristics of Hawthorn (*Crataegusmonogyna* Jacq.), Rosaceae. Molecules. 26(23) : 7266. doi:

10.3390/molecules26237266. PMID: 34885847; PMCID: PMC8659235.

16. Žugić, A., Đorđević, S., Arsić, I., Marković, G., Živković, J., Jovanović, S. & Tadić, V. (2014). Antioxidant activity and phenolic compounds in 10 selected herbs from *Vrujci Spa*, Serbia. *Ind. Crops Prod. (52)*, 519-527.

17. Liu, P., Kallio, H., Lü, D., Zhou, C. & Yang, B. (2011). Quantitative analysis of phenolic compounds in Chinese hawthorn (*Crataegus* spp.) fruits by high performance liquid chromatography-electrospray ionisation mass spectrometry. *Food Chem.* (*127)*, 1370-1377.

18. Zhang, L.L., Zhang, L.F. & Xu, J.G. (2020). Chemical composition, antibacterial activity and action mechanism of different extracts from hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bge.). *Sci Rep* 10, 8876. https://doi.org/10.1038/s41598-020-65802-7.

19. Wang, C.Y., Chen, C.T. & Wang, S.Y. (2009). Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C. *Food Chem. (117)*, 426-431.

20. Zhang, J., Chai, X., Zhao, F., Hou, G., Meng, Q. (2022). Food Applications and Potential Health Benefits of Hawthorn. Foods. Sep 15;11(18):2861. doi: 10.3390/foods11182861. PMID: 36140986; PMCID: PMC9498108.

21. Liu, P. (2012). *Composition of Hawthorn (Crataegus spp.) fruits and leaves and emblic leafflower (Phyllanthus emblica) fruits* . University of Turku.

22. Qiang, L., Wanying, Z., Qiyuan, S., Lichuang, H., Yiwen, W., Lu, W., Haodan, K., Muhammad, A. & Gang Cao. (2023). Expanding annotation of chemical compounds in hawthorn fruits and their variations in thermal processing using integrated mass spectral similarity networking, Food Research International, (172), 113-114, ISSN 0963-9969, https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.

23. Wu, J., Peng, W., Qin, R., Zhou, H. (2014). Crataegus pinnatifida: chemical constituents, pharmacology, and potential applications. Molecules. 19(2), 1685-712. doi: 10.3390/molecules19021685. PMID: 24487567; PMCID: PMC6271784.

24. Chunjie, Y., Xin, W., Ju, Z., Nan, L., Ruixiao, W., Tian, W., Wu, D. (2022). Comparative metabolomic analysis of different-colored hawthorn berries (Crataegus pinnatifida) provides a new interpretation of color trait and antioxidant activity, LWT, (163), 113-123, ISSN 0023-6438, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113623.

25. Ma, J.X., Yang, W., Ng, C.Y.J., Tang, X.D., Wong, S., Gan, R.Y. & Zhong, L. (2024). The hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bge.) fruit as a new dietary source of bioactive ingredients with multiple beneficial functions. *Food Frontiers*, 5, 1534-1558. https://doi.org/10.1002/ fft2.413.

26. Alirezalu, A., Ahmadi, N., Salehi, P., Sonboli, A., Alirezalu, K., Mousavi Khaneghah, A., Barba, F.J., Munekata, P.E.S. & Lorenzo, J.M. (2020). Physicochemical Characterization, Antioxidant Activity, and Phenolic Compounds of Hawthorn (*Crataegus* spp.) Fruits Species for Potential Use in Food Applications. *Foods*, *9*(4), 436. https://doi.org/10.3390/foods9040436.

27. Musa, Ö., Haydar, H., Tamer, M., Derya, A., (2005). Hawthorn (Crataegus spp.) fruit: some physical and chemical properties, Journal of Food Engineering, (69), Issue 4, 409-413, ISSN 0260-8774, https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.032.

Information about the authors

A.V. Zhebo - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Graduate School of Natural Resources Management, Pacific National University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 135–140.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 135–140.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.64.016
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.020 EDN: ODSROK

РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИСКВИТНОГО ПИРОЖНОГО БЕЗ САХАРА

Ирина Юрьевна Резниченко [1], Татьяна Александровна Мирошина [2]

[1, 2] Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкова, Кемерово, Россия
[1] irina.reznichenko@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7486-4704
[2] intermir42@mail.ru,https://orcid.org/0009-0006-5152-0868

Аннотация. *Применение местного овощного и ягодного сырья, а также продуктов их переработки в пищевых системах является одним из важных направлений для предприятий пищевой промышленности и общественного питания различных форматов с точки зрения экологических и экономических преимуществ. Цель работы заключалась в разработке рецептур выпеченного и отделочного полуфабрикатов для приготовления бисквитного пирожного без сахара. В исследованиях рассмотрена возможность замены сахара в рецептуре бисквитного полуфабриката. Предложено бисквитное пирожное с отделочным полуфабрикатом на основе местного ягодного и овощного сырья. Обоснование применяемого сырья основывалось на биологической ценности, ценовой доступности, применении традиционных технологий приготовления. Выпеченный бисквитный полуфабрикат готовили с полной заменой сахара белого на мед. Отделочный полуфабрикат готовили с применением плодов тыквы и ягод жимолости. В качестве методов анализа применяли общепринятые, согласно требований ОСТ 10-060-95. В результате анализа качества выпеченного полуфабриката установили, что замена сахара белого на мед позволяет получить полуфабрикат, хорошо поддающийся формованию. Отформованный круглый полуфабрикат характеризуется правильной формой, края с ровным обрезом, без подгорелости, вид на разрезе с равномерной пористостью, вкус и запах приятные, по сравнению с полуфабрикатом на основе сахара вкус менее сладкий, цвет более насыщенный золотистый. По физико-химическим показателям выпеченный полуфабрикат соответствовал нормативным требованиям. При полной замене сахара на мед уровень сахарозы в выпеченном полуфабрикате снизился на 19 %. При разработке отделочных полуфабрикатов показана возможность замены сахара белого в составе пюре из жимолости на мед в соотношении 1:0,4. Отделочные полуфабрикаты из пюре тыквы и пюре жимолости соответствовали по всем показателям качества установленным требованиям. Предложенное бисквитное пирожное обладает хорошими органолептическими характеристиками, соответствует нормам по физико-химическим показателям качества. Энергетическая ценность, по сравнению с традиционными изделиями, снижена в среднем на 7 %.*

Ключевые слова: *бисквитный полуфабрикат, мед, отелочный полуфабрикат, жимолость, тыква, качественные характеристики.*

Для цитирования: Резниченко И. Ю., Мирошина Т. А. Разработка и оценка качественных характеристик бисквитного пирожного без сахара // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 135–140. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.020. EDN: https://elibrary.ru/ODSROK.

Original article

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF QUALITY CHARACTERISTICS OF SUGAR-FREE SPONGE CAKE

Irina Yu. Reznichenko [1], Tatyana A. Miroshina [2]

[1, 2] Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov, Kemerovo, Russia
[1] irina.reznichenko@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7486-4704
[2] intermir42@mail.ru,https://orcid.org/0009-0006-5152-0868

Abstract. *The use of local vegetable and berry raw materials, as well as their processed products in food systems is one of the important areas for food industry enterprises and public catering of various formats in terms of environmental and economic benefits. The purpose of the work was to develop recipes for baked and finishing semi-finished products for the preparation of sugar-free sponge cake. The study considered the possibility of replacing sugar in the sponge cake semi-finished product recipe. A sponge cake with a finishing semi-finished product based on local berry and vegetable raw materials is proposed. The justification for the raw materials used was based on biological value, affordability, and the use of traditional cooking technologies. The baked sponge semi-finished product was prepared with a complete replacement of white sugar with honey. The finishing semi-finished product was prepared using pumpkin fruits and honeysuckle berries. Generally accepted methods according to the requirements of OST 10-060-95 were used as analysis methods. As a result of the analysis of the quality of the baked semi-finished product, it was found that re-*

© Резниченко И. Ю., Мирошина Т. А., 2026

placing white sugar with honey allows us to get a semi-finished product that is easy to mold. The molded round semi-finished product is characterized by the correct shape. The edges are evenly cut, without burning, the cross-section has uniform porosity. The taste and smell are pleasant, compared to the semi-finished product based on sugar. The taste is less sweet. The color is more saturated golden. According to the physicochemical indicators, the baked semi-finished product met the regulatory requirements. With a complete replacement of sugar with honey, the sucrose level in the baked semi-finished product decreased by 19 %. When developing finishing semi-finished products, the possibility of replacing white sugar in the honeysuckle puree with honey in a ratio of 1: 0.4 was shown. Finishing semi-finished products from pumpkin puree and honeysuckle puree met the established requirements for all quality indicators. The proposed sponge cake has good organoleptic characteristics, meets the standards for physicochemical quality indicators. The energy value, compared to traditional products, is reduced by an average of 7 %.

Keywords: *biscuit semi-finished product, honey, finishing semi-finished product, honeysuckle, pumpkin, quality characteristics.*

For citation: Reznichenko I. Yu. & Miroshina T. A. (2026). Development and evaluation of quality characteristics of sugar-free sponge cake. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 135-140. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.020. EDN: https: //elibrary.ru/ODSROK.

ВВЕДЕНИЕ

Пирожное представляет собой сложное многокомпонентное изделие, разнообразной формы, с оформлением поверхности, состоящее из двух или более слоев различных выпеченных и отделочных полуфабрикатов, массой до 150 г. [1]. Отделочный полуфабрикат используется для отделки или прослаивания изделия и может иметь различный состав. Пирожные бисквитные наиболее популярны среди потребителей. В целом, бисквиты хорошо известны как продукты на основе злаков, которые выпекаются с содержанием влаги не менее 5 % [2].

Бисквит является одним из традиционных мучных изделий и потребляется всеми возрастными группами. Он популярен среди потребителей, потому что этот продукт питания очень вкусный, питательный, быстро высвобождает энергию и доступен в удобных размерах, а также в различных формах. Кроме того, рецептуры можно легко модифицировать и выгодно удовлетворять пищевые и сенсорные потребности целевых потребителей [3]. В настоящее время наблюдается тенденция по включению в рецептуры мучных изделий, особенно с высокой энергетической ценностью, плодовоовощных добавок. Данное направление актуально в связи с повышением спроса на продукцию повышенной пищевой ценности и на основе натурального сырья. Использование местного овощного и ягодного сырья, продуктов их переработки – также актуальная задача для предприятий пищевой промышленности и общественного питания различных форматов [15].

Потребление овощей и ягод настоятельно рекомендуется из-за их полезных для здоровья свойств, наличия фитохимических веществ. Ежедневное потребление продуктов, богатых полифенолами, каротиноидами, токоферолами, стеринами и другими биоактивными веществами, положительно влияет на физиологические процессы и метаболизм человека. В настоящее время интерес исследователей к углубленному изучению функциональных продуктов питания растет, включая тыкву (*Cucurbitaspp*.), являющуюся одним из самых богатых природных источников питательных веществ и биоактивных метаболитов [4]. Не меньший интерес вызывают ягоды жимолости.

Вышеизложенное послужило определению цели исследования. ***Цель*** – разработка рецептуры бисквитного и отделочного полуфабрикатов для приготовления пирожного с полной заменой добавленного сахара. Задачи исследования: обоснование выбора сырья для выпеченного и отделочного полуфабрикатов, разработка бисквитного полуфабриката без сахара, разработка отделочных полуфабрикатов, оценка качества пирожного.

Объекты и методы исследования. Объектами служили модельные образцы выпеченного бисквитного полуфабриката, приготовленного по традиционной рецептуре бисквита № 1 [5] с полной заменой сахара белого на мед и образцы отделочного фруктового полуфабриката, приготовленные из плодов тыквы (сорт Конфетка) и ягод жимолости (сорт Голубое веретено). Под фруктовым полуфабрикатом принимали массу на основе плодово-ягодного сырья, с добавлением или без добавления сахара, патоки, студнеобразователя, пищевых добавок, с массовой долей фруктового сырья не менее 25 % [1]. В эксперименте отделочные полуфабрикаты готовили на основе пюре тыквы и пюре жимолости, в состав которых входил пектин, плоды тыквы или ягоды жимолости.

В работе применяли стандартные методы испытаний бисквита согласно требований ОСТ 10-060-95. В выпеченном полуфабрикате определяли органолептические показатели качества (внешний вид, состояние поверхности, форма, цвет, вкус и запах) из физико-химических показателей определяли массовую долю влаги, массовую долю сахара. Дополнительно проводили балльную оценку выпеченного полуфабриката. Каждый показатель максимально оценивался в 5 баллов [10]. В случае оценки образца от 23 до 25 баллов, он оценивался на «отлично», от 16 до 20 – «хорошо», 11–15 – «удовлетворительно», 6–10 – «неудовлетворительно», 0–5 – «очень плохое качество». В пюре согласно ГОСТ 32742-2014 определяли органолептические показатели, массовую долю растворимых сухих веществ, титруемую кислотность.

Результаты исследований. Обоснование применяемого сырья основывалось на биологической ценности, ценовой доступности, применении традиционных технологий приготовления.

Плоды тыквы богаты биоактивными соединениями, особенно каротиноидами, фенольными кислотами, флавонолами, зеаксантином и лютеином. Помимо того, что тыква является хорошим источником макроэлементов и минералов, она имеет низкий гликемический индекс, что объясняется содержанием в ней клетчатки [7]. Сообщается, что тыква богата пищевыми волокнами, в частности пектином, функциональными соединениями, биоактивными веществами, витаминами (A, B_6, K, C и E) и минералами (K, Mg, P, Se и Fe). Некоторые из биоактивных соединений, содержащихся в тыкве, представляют собой полиса-

хариды, белки и пептиды, парааминобензойную кислоту и стерины. Каротиноиды также очень распространены в тыкве. Было идентифицировано около 60 каротиноидов, включая b-каротин, a-каротин и b-криптоксантин [2]. Тыква питательна и низкокалорийна, обладает массой полезных для здоровья свойств. Благодаря высокому содержанию калия и магния тыква оказывает положительное влияние на общее состояние здоровья. Вышеуказанные свойства делают ее важным ингредиентом сбалансированной и здоровой диеты, укрепляющей иммунную систему, улучшающей заживление ран, обладающей противовоспалительными эффектами [8, 9].

Растущий интерес к ягодам жимолости связан с их уникальным составом, наличием рекордно высоких концентраций аскорбиновой кислоты и биофлавоноидов. Благотворное влияние фитооксидантов с различной молекулярной структурой, в том числе флавоноидов, на организм человека широко подтверждено. Ягоды, используемые как в свежем виде, так и в различных формах переработки, являются богатейшим источником фитоантиоксидантов. Продукт, обогащенный плодами жимолости, можно считать функциональным и рекомендовать его использование в рационе питания людей, стремящихся поддерживать физиологическую массу тела и нормализовать артериальное давление [10, 11]. Наличие большого количества аскорбиновой кислоты и флавонолов свидетельствует о высокой пищевой ценности и функциональной направленности ягод жимолости как сырья для производства продуктов здорового питания [12].

Мед – это натуральный продукт, который благодаря своему составу, особенно высокой биологической ценности, высоко ценится как сырьевой ингредиент. Помимо сахаров, он содержит много других веществ (углеводы, свободные аминокислоты, ферментативные белки, органические кислоты, полифенолы), из которых возникают терапевтические свойства меда: увлажняющая и осмотическая активность, антимикробное действие, антиоксидантная и противовоспалительная сила. Фенольные соединения, хотя и присутствуют в небольших количествах, играют значительную роль в полезных свойствах меда. Мед обладает доказанными целебными свойствами, подтвержденными современными научными доказательствами [13, 14].

Таким образом, обоснован выбор ингредиентов (мед, плоды тыквы и ягоды жимолости). Для разработки бисквитного полуфабриката готовили и проводили сравнительную оценку полуфабрикатов на основе сахара белого и на основе меда. В первую очередь определяли органолептические показатели качества выпеченного полуфабриката и его свойства при формовании пирожного. Опираясь на определение пирожного, как сложного, многокомпонентного изделия разнообразной формы и состоящее из двух и более выпеченных полуфабрикатов и отделочного(ых), выявляли характеристики выпеченного полуфабриката, такие как прочность при разделке, сохранение формы, так как именно данные характеристики обеспечивают готовому изделию внешний вид. Установлено, что выпеченный полуфабрикат на основе меда не крошится во время разделки и хорошо держит форму. Внешний вид пласта и приготовленных форм для пирожного приведен на рисунке 1.



Выпеченный полуфабрикат Заготовки

Рисунок 1 – Внешний вид бисквитного выпеченного полуфабриката
Figure 1 – The appearance of a semi-finished baked biscuit product

Сравнительная оценка органолептических показателей приведена на рисунке 2 в виде профилограммы.

Установлено, что полуфабрикат на основе меда имел следующие характеристики: правильная форма, края с ровным обрезом, без подгорелости, вид на разрезе с равномерной пористостью, без следов непромеса, вкус и запах приятные, без посторонних примесей.

По сравнению с полуфабрикатом на основе сахара вкус менее сладкий, цвет более насыщенный золотистый. Физико-химические показатели выпеченного полуфабриката приведены в таблице 1.

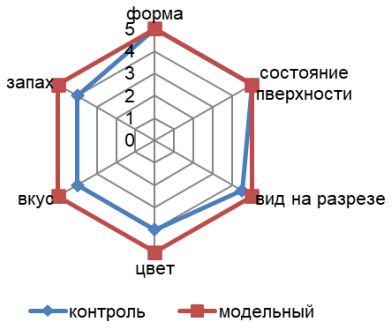


Рисунок 2 – Профилограмма органолептической оценки выпеченного бисквитного полуфабриката

Figure 2 – Profilogram of organoleptic evaluation of a semi-finished baked biscuit product

Таблица 1 – Физико-химические показатели качества выпеченного полуфабриката
Table 1 – Physicochemical quality indicators of a semi-finished baked biscuit product

Наименование показателя	Норма	Фактически
Массовая доля влаги, %	Не более 25	19,8±1,5
Массовая доля общего сахара, в пересчете на сухое вещество, %	Не более 77	33,4 ±0,5
Толщина пласта, мм	Не более 9 мм	6,5±1,5

Полученные данные позволяют сделать вывод о соответствии выпеченного полуфабриката нормируемым требованиям и высоким органолептическим характеристикам.

На следующем этапе готовили отделочный полуфабрикат. Для приготовления пюре подготовленные и очищенные от семян свежие плоды тыквы нарезали на кусочки в виде кубиков размером 20–25 мм и помещали в микроволновую печь на 7–8 минут, после остывания измельчали на блендере до состояния пюре. В пюре из тыквы сахар не добавляли. Пюре из жимолости готовили с заменой сахара на мед. Ягоды замороженной жимолости размораживали, измельчали на блендере и выдерживали в микроволновой печи в течение 5–6 минут, после остывания добавляли мед в соотношении ягода:мед – 1:0,4. Внешний вид отделочного полуфабриката и пирожного приведен на рисунке 3.



Пюре из тыквы Пюре из жимолости Пирожное

Рисунок 3 – Внешний вид отделочного полуфабриката и пирожного
Figure 3 – The appearance of the finished semi-finished product and the cake

Анализ органолептических показателей качества пюре установил, что пюре имеет однородную массу, без частиц, семян, плодоножек и листьев; консистенция плотная, пюреобразная; цвет однородный насыщенный, свойственный используемому сырью; вкус и запах приятные, хорошо выраженные, без посторонних привкусов и запахов. Физико-химические показатели качества отделочного полуфабриката приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели качества пюре
Table 2 – Physicochemical indicators of puree quality

Наименование показателя	Характеристика пюре		
	ГОСТ	из тыквы	из жимолости
Массовая доля растворимых сухих веществ, %, не менее	7,0 (жимолость) 5,0 (тыква)	14,8	12,7
Посторонние примеси	Не допускаются	отсутствуют	Отсутствуют
Массовая доля титруемых кислот, % , не менее	1,0 для жимолости	Не нормируется	2,4

Следующий этап исследований включал оценку качества пирожного, состоящего из четырех слоев выпеченного и трех слоев отделочного полуфабрикатов. Установлено, что отделочный полуфабрикат не вытекает за края изделия, изделие сохраняет свою правильную форму. Текстура изделия мягкая, характеризуется легкостью разжевывания. Вкус и запах свойственные, приятные. Рассчитана пищевая ценность пирожного (таблица 3).

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества пюре
Table 3 – Physicochemical indicators of puree quality

Пищевые вещества	Образцы		
	Контроль	С пюре тыквы	С пюре жимолости
Белки, г	4,7	4,7	4,7
Жиры, г	1,4	1,4	1,4
Углеводы, г	62,0	54,0	56,0
Пищевые волокна, г	0,2	3,2	2,8
Энергетическая ценность, ккал	280	253	261

В качестве отделки верхней поверхности и боковых граней можно предложить обсыпку бисквитной крошкой, либо другим видом отделки, в составе которой отсутствует сахар. Также можно рекомендовать в качестве отделочного полуфабриката использовать один вид, например, только пюре жимолости или только пюре тыквы. Энергетическая ценность снижена на 7 % (при использовании пюре тыквы) и на 6,7 % (при отделке пюре жимолости).

ВЫВОДЫ

Экспериментально определена возможность полной замены сахара в рецептуре бисквитного полуфабриката на мед, установлено соответствие показателей качества предложенного выпеченного полуфабриката. Замена сахара белого на мед в выпеченном полуфабрикате позволяет снизить уровень сахарозы на 19 %. Показана возможность замены сахара белого в составе пюре из жимолости на мед в соотношении 1:0,4. Предложенное пирожное бисквитное обладает хорошими органолептическими характеристиками, соответствует нормам по физико-химическим показателям качества, имеет пониженную, по сравнению с традиционными изделиями, энергетическую ценность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 53041-2008 Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2019. 16 с.

2. Wahyono A., Budiati T., Shahbaz H. (2023). Feasibility of using yellow pumpkin (Cucurbita moschata) in developing bakery products. Publisher: Intech Open. 1–15. http://doi.org/10.5772/intechopen.1002228. /tar.v35i4.8843.

3. Pinna N., Abbou S., Ianni F. (2024). Phenolic compounds from pumpkin pulp: extraction optimization and biological properties. *Food Chemistry*. http://doi.org/101628. 10.1016/j.fochx.2024.101628.

4. Jayalath K., Mendis E., Madushan A. (2024). Evaluation of physical and sensory properties of biscuits made from blended wheat flour and pumpkin powder. *Tropical Agricultural Research*. 35. 288–295. http://dx.doi.org/10.4038/tar.v35i4.8843.

5. Рецептуры на торты, пирожные, кексы и рулеты. Часть 1. Бисквитные торты. М. : Пищевая промышленность. 1978. 459 с.

6. Резниченко И.Ю., Бородулин Д.М., Пикулина Н.С. Разработка рецептуры и оценка качества безглютенового мучного изделия // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 82–86. DOI: http://dx.doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.016.

7. Rasdi M., Abidin M., Malik N. Effect of drying conditions on functional properties of pumpkin powder // Advances in Agricultural and Food Research Journal. 2024. 5. http://dx.doi.org/10.36877/aafrj.a0000481.

8. Joseph A., Olakunle F., Gimba U. [et al.]. Studies on nutritional and medicinal properties of chamomile flower, pumpkin fruit and maca root // African Journal of Biological, Chemical and Physical sciences (AJBCPS). 2024. 3. 88–97.

9. Gavril R.N.,Stoica F., Lipşa F.D. [et al.]. Pumpkin and pumpkin by-products: a comprehensive overview of phytochemicals, extraction, health benefits, and food applications // Foods. 2024. 13.2694 http://dx.doi.org/10.3390/foods13172694.

10. Savina A., Kiseleva O., Shmygov A. Varietal differences of frozen honeysuckle berries by the chemical parameters set // Food Industry. 2024. 9. 90–97. http://dx.doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-3-9.

11. Inyushkina E., Kavelenova L., Kazakov A. [et al.]. Edible honeysuckle as a source of fruits promising for new functional food products development // E3S Web of Conferences. 2024. 474. http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202447403013.

12. Kirina I.B., Titova L., Popova E. [et al.]. Biochemical value of berries of promising edible honeysuckle varieties for the production of functional food products // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 845. 012097. http://dx.doi.org/10.1088/ 1755-1315/845/1/012097.

13. Miraldi E., Cappellucci G., Casino C. [et al.]. Eudermic properties and chemical-physical characterization of honeys of different botanical origin // Nutrients. 2024. 16. 3647. http://dx.doi.org/10.3390/nu16213647.

14. Мирошина Т.А., Резниченко И.Ю. Систематизация биотехнологических свойств продукции пчеловодства // Вестник КрасГАУ. 2024. № 4(205). С. 216–222. http://dx.doi.org/10.36718/1819-4036-2024-4-216-222.

15. Захарова А.С. Мучные кондитерские изделия с брусникой / А.С. Захарова, Л.А. Козубаева, Е.Ю. Егорова // Ползуновский вестник. 2019. № 4. С. 17–20. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.04.004.

Информация об авторах

И. Ю. Резниченко – доктор технических наук, профессор кафедры «Биотехнологий и производства продуктов питания» ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкова».

Т. А. Мирошина – канд. пед. наук, доцент кафедры педагогических технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкова».

REFERENCES

1. GOST R 53041-2008 Confectionery products and semi-finished confectionery products. Terms and definitions. Moscow : *Standartinform;* 2019. 16 p. (In Russ.).

2. Wahyono, A., Budiati, T., Shahbaz, H. Feasibility of using yellow pumpkin (Cucurbita moschata) in developing bakery products. 2023. Publisher: Intech Open. 1-15. 10.5772/intechopen.1002228. /tar.v35i4.8843.

3. Pinna, N., Abbou, S., Ianni, F. [et al.]. Phenolic compounds from pumpkin pulp: extraction optimization and biological properties. *Food Chemistry*. 2024. 23.101628.10.1016/j.fochx.2024.101628.

4. Jayalath, K., Mendis, E., Madushan, A. Evaluation of physical and sensory properties of biscuits made from blended wheat flour and pumpkin powder. *Tropical Agricultural Research.* 2024. 35. 288-295.10.4038/tar.v35i4.8843.

5. Recipes for cakes, pastries, muffins and rolls. Part 1. Sponge cakes. Moscow : *Food industry;*1978. 459 p. (In Russ.).

6. Reznicenko, I.Yu., Borodulin, D.M., Pikulina, N.S. Development of a recipe and quality assessment of a gluten-free flour product. *Polzunovsky Bulletin.* 2020. 2. 82-86. 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.016. (In Russ.).

7. Rasdi, M., Abidin, M., Malik, N. Effect of drying conditions on functional properties of pumpkin powder. *Advances in Agricultural and Food Research Journal.* 2024. 5. 10.36877/aafrj.a0000481.

8. Joseph, A., Olakunle, F., Gimba, U. [et al.]. Studies on nutritional and medicinal properties of chamomile flower, pumpkin fruit and maca root. *African Journal of Biological, Chemical and Physical sciences (AJBCPS).* 2024;3:88-97.

9. Gavril, R.N., Stoica, F., Lipşa, F.D. [et al.]. Pumpkin and pumpkin by-products: a comprehensive overview of phytochemicals, extraction, health benefits, and food applications. *Foods.* 2024. 13. 2694. 10.3390/ foods13172694.

10. Savina, A., Kiseleva, O., Shmygov, A. Varietal differences of frozen honeysuckle berries by the chemical parameters set. *Food Industry*. 2024. 9. 90-97. 10.29141/2500-1922-2024-9-3-9. (In Russ.).

11. Inyushkina, E., Kavelenova, L., Kazakov, A. [et al.]. Edible honeysuckle as a source of fruits promising for new functional food products development. *E3S Web of Conferences*. 2024. 474. 10.1051/e3sconf/ 202447403013.

12. Kirina, I.B., Titova, L., Popova, E. [et al.]. Biochemical value of berries of promising edible honeysuckle varieties for the production of functional food products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2021. 845. 012097.10.1088/1755-1315/845/1/012097.

13. Miraldi, E., Cappellucci, G., Casino, C. [et al.]. Eudermic properties and chemical-physical characterization of honeys of different botanical origin. *Nutrients.* 2024. 16. 3647. 10.3390/nu16213647.

14. Miroshina, T.A., Reznichenko, I.Yu. Systematization of biotechnological properties of beekeeping products. *Bulletin of KrasSAU.* 2024.4(205). 216-222. 10.36718/1819-4036-2024-4-216-222. (In Russ.).

15. Zakharova, A.S., Kozubayeva, L.A., Egorova, E.Yu. Flour Confectionery Products with Lingonberries / A.S. Zakharova. Polzunovsky Vestnik. 2019. 4.17-20. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.04.004. (In Russ.).

Information about the authors

I.Yu. Reznichenko - Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Biotechnology and Food Production, Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov.

T.A. Miroshina - Ph.D. Pedagog. Sci., Associate Professor of the Department of Pedagogical Technologies, Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 141–146.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 141–146.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.848:641.827
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.021 EDN: OGGWHH

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ГРИБНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ ОВОЩНЫХ И РЫБНЫХ СУПОВ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ КУЛИНАРНОЙ ГОТОВНОСТИ

Инна Игоревна Медведкова [1], Сергей Анатольевич Соколов [2], Александр Анатольевич Яшонков [3]

[1] Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, Донецк, Россия
[2, 3] Керченский государственный морской технологический университет, Керчь, Россия
[1] imedinna@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7155-7306
[2] sokoloff1906@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4971-3015
[3] jashonkov@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-1431-679X

Аннотация. *Статья посвящена изучению кинетики сушки грибов опят с целью создания грибного наполнителя в жидкие супы высокой степени готовности. Рассмотрены методологические и технологические подходы к подготовке грибов опят к дальнейшему использованию их в оригинальных рецептурах супов. Сушка как целых, так и нарезанных грибов, проводилась с использованием лабораторной сушильной установки с замкнутым контуром. Показано, что полученные кривые сушки и скорости сушки как целых опят, так и нарезанных, в значительной степени отличаются от классических кривых сушки и скорости сушки капиллярно-пористых материалов, что свидетельствует о том, что несмотря на высокое влагосодержание исходного сырья, большая часть влаги находится внутри образцов в связанном состоянии. Отмечено ожидаемое снижение времени сушки для более высоких температур теплоносителя и, соответственно, по причине увеличения площади поверхности для нарезанных опят и меньшего их сопротивления испарению влаги на поверхности эндокарпия. И в случае сушки целых опят неповреждённый экзокарпий оказывает заметное сопротивление испарению влаги. При анализе кривых скорости сушки отмечено отсутствие периода постоянной скорости сушки. Показано, что скорость сушки максимальна при 70 ºС на очень короткий период, в целом скорость сушки при 60 ºС оказывается более эффективной для более широкого диапазона влажности, что делает эту температуру оптимальной для сушки опят, чтобы избежать подгорания углеводов и деградации полезных веществ. Выбор оптимальной температуры 60 ºС обеспечивает равномерное иссушение и сохранение ароматических соединений, что напрямую влияет на качество и вкусовые характеристики сушеных опят и, как следствие, повышают органолептические показатели пищевых смесей для производства готовых овощных и рыбных супов.*

Ключевые слова: *здоровое питание, технологическая подготовка, растительные наполнители, овощной и рыбный суп, грибы опята, сушка, вакуумная сушилка, кинетика сушки, скорость сушки, влажность, сопротивление испарению влаги, готовый пищевой продукт.*

Для цитирования: Медведкова И. И., Соколов С. А., Яшонков А. А. Технологическая подготовка грибного наполнителя для овощных и рыбных супов высокой степени кулинарной готовности // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 141–146. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.021. EDN: https://elibrary.ru/OGGWHH.

Original article

TECHNOLOGICAL PREPARATION OF MUSHROOM FILLING FOR VEGETABLE AND FISH SOUPS OF HIGH DEGREE OF CULINARY READINESS

Inna I. Medvedkova [1], Sergey A. Sokolov [2], Aleksander A. Yashonkov [3]

[1] Donetsk National University OF Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Russia
[2, 3] Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia
[1] imedinna@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7155-7306
[2] sokoloff1906@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4971-3015
[3] jashonkov@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0002-1431-679X

Abstract. *The article is devoted to the study of the kinetics of drying mushrooms with honey mushrooms in order to create a mushroom filler in liquid soups with a high degree of readiness. Methodological and technological approach-*

© Медведкова И. И., Соколов С. А., Яшонков А. А., 2026

es to the preparation of honey mushrooms for their further use in original soup recipes are considered. Drying of both whole and sliced mushrooms was carried out using a closed-loop laboratory drying unit. It is shown that the obtained drying curves and drying rates of both whole and sliced honey mushrooms differ significantly from the classical drying curves and drying rates of capillary-porous materials, which indicates that despite the high moisture content of the initial raw material, most of the moisture is inside the samples. in a connected state. An expected decrease in drying time was noted for higher temperatures of the coolant and, accordingly, due to an increase in the surface area for sliced sawdust and their lower resistance to moisture evaporation on the surface of the endocarp. And in the case of drying whole honey mushrooms, the undamaged exocarpium has a noticeable resistance to moisture evaporation. When analyzing the drying rate curves, the absence of a constant drying rate period was noted. It is shown that the drying speed is maximum at 70 °C for a very short period, in general, the drying speed at 60 ° C is more effective for a wider range of humidity, which makes this temperature optimal for drying honey mushrooms to avoid burning carbohydrates and degradation of nutrients. Choosing the optimal temperature of 60°C ensures uniform drying and preservation of aromatic compounds, which directly affects the quality and taste characteristics of dried honey mushrooms and, as a result, increases the organoleptic characteristics of food mixtures for the production of ready-made vegetable and fish soups.

***Keywords**: healthy nutrition, technological preparation, vegetable fillers, vegetable and fish soup, honey mushrooms, drying, vacuum dryer, drying kinetics, drying speed, humidity, resistance to moisture evaporation, finished food product.*

For citation: Medvedkova I. I., Sokolov S. A., Yashonkov A. A. (2026). Technological preparation of mushroom filling for vegetable and fish soups of high degree of culinary readiness. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 141-146. (In Russ.). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.021. EDN: https: //elibrary.ru/OGGWHH.

ВВЕДЕНИЕ

Текущее десятилетие XXI века помимо многочисленных аспектов, определяющих качество существования человека, характеризуется повышенным интересом потребителей к здоровому образу жизни. При этом особое внимание среднестатистического потребителя уделяется здоровому питанию, в котором предпочтения отдаются блюдам, в рецептуре которых содержится большое количество овощей, фруктов, пряной зелени, бобовых, листовых овощей, луковиц и клубней. Другими словами, это те продукты, которые признаны здоровым источником питательных веществ, в основном пищевых волокон, витаминов и минералов, других углеводов, естественно белка и биоактивных соединений. При следовании такой системе питания сохраняется и поддерживается здоровье и благополучие организма. Немаловажным аспектом такого питания является и экономическая составляющая, так как вышеперечисленные продукты недороги, просты в хранении и приготовлении, а зачастую готовы к употреблению. Современный ритм жизни сильно изменил привычки традиционного потребления в сторону использования натуральных ингредиентов, повышения экологичности производственных процессов, применения менее инвазивных технологий, позволяющих сохранять нативные полезные свойства перерабатываемых продуктов. Таким образом, с учётом взаимосвязи между диетой и здоровьем, изменением социальных привычек в молодёжной среде (стремление к физическому совершенству, веганство и прочие тенденции) исследования, направленные на разработку новых кулинарных композиций и инновационных процессов и технологий, направленных на максимальное сохранение полезных свойств потребляемых продуктов, выходят в тренд. При этом, к сожалению, всё более заметным становится увеличение числа работающих женщин и людей, живущих в одиночку, что определяет повышенное внимание к блюдам высокой степени готовности реализуемых в обычных торговых сетях.

Согласно существующей классификации, в зависимости от назначения и видов основного сырья пищевые концентраты первых и вторых обеденных блюд подразделяются на следующие группы: первые обеденные блюда супы, борщи, свекольники, щи, бульоны. В зависимости от технологических режимов обработки сырья выпускают: пищевые концентраты с продолжительностью разваривания 15–25 мин; пищевые концентраты быстрого приготовления; пищевые концентраты пюреобразные [1]. В зависимости от состава и способа обработки сырья сухие супы подразделяются на: пюреобразные, заправочные, прозрачные [2]. Согласно техническим требованиям, по внешнему виду пищевые концентраты первых обеденных блюд могут выпускаться как насыпные: смеси пищевых продуктов разной формы и степени измельчения, и брикетированные: цельные, правильной формы, равномерные по толщине.

Сухие суповые смеси, которые необходимо развести горячей водой перед употреблением, приобрели популярность ещё в 19 веке, и в настоящее время они имеют высокий спрос по причине высокого удобства транспортирования, применения, особенно с появлением на глобальном рынке пластиковой тары, применимой в микроволновых печах. Сухие смеси обладают высокой защищённостью от ферментативной и окислительной порчи и стабильностью вкуса при комнатной температуре в течение длительных периодов времени (от 6 до 12 месяцев) [3, 4]. Авторами работы [5] выявлены основные сегменты потенциальных потребителей супов на основе сухих смесей. Такие супы в целом делятся на два типа – густые и жидкие (прозрачные) супы. Это делается на основе их текстуры. Так называемые густые супы классифицируются в зависимости от типа используемого загустителя: пюре – это овощные супы, загущенные крахмалом; суп биски готовятся из протертых моллюсков или овощей, загущенных сливками; крем-супы могут быть загущены соусом бешамель; а суп Велюте Дюбарри (Velouté Dubarry) загущается яйцами, маслом и сливками. Другие ингредиенты, обычно используемые для загущения супов, включают рис, чечевицу, муку и зерна [1, 5]. В случае овощных супов разрешены только ингредиенты растительного происхождения.

Однако за последние десятилетия рынок значительно изменился благодаря развитию многочисленных инновационных технологий консервации пищевых продуктов. Эти технологии позволяют сохранять естественный вкус, цвет и витаминный состав продуктов при высокой степени безопасности и сроков хранения, значительно превышающие сроки хранения после тепловой обработки [6, 7]. Благодаря таким инновационным технологиям альтернативой

завариваемым супам из сухих концентратов становятся жидкие овощные или крем-супы высокой степени готовности. Их растущая популярность заключается в большом разнообразии входящих в рецептуру овощей и простотой их применения [8]. Применение нетепловых методов обработки позволяет разработать супы высокой степени готовности или вообще готовых к употреблению без дополнительных технологических манипуляций. Получаемые продукты приобретают качество, максимально соответствующее натуральному свежему сырью с высокими питательными характеристиками и гарантированной безопасностью при длительных сроках хранения и реализации. Анализ существующего рынка готовых к употреблению продуктов показал возрастающий интерес к холодным супам, которые широко представлены в средиземноморских диетах [9].

В XXI веке особую популярность приобрели холодные супы, наиболее известным из которых является гаспачо, вкус и консистенция которого определяются большим содержанием томатов. Гаспачо имеет некоторые своеобразные органолептические характеристики вкуса, аромата и цвета, обусловленные разнообразием овощей, входящих в его состав [10]. В настоящее время значительная часть сырья, которое используется для производства пищевых концентратов, перегружено усваиваемыми углеводами, что влечёт за собой снижение их биологической ценности, малое содержание витаминов и повышенную калорийность. Одним из способов повышения биологической ценности при снижении калорийности является замена большей части углеводсодержащих компонентов продуктами из съедобных грибов, что определяет необходимость исследований, направленных на разработку и совершенствование технологии получения и применения грибного наполнителя. Для реализации возможности использования грибов [11] в качестве белковой добавки в рецептуру холодных супов необходимо предпринять ряд технологических операций, применение которых предположительно приведёт к положительной трансформации органолептических, структурно-механических и других показателей качества используемых грибов. Исходя из вышесказанного, нами была определена цель исследования, состоящая в выборе и обосновании применимого вида грибов для создания вкусовой добавки в холодные супы, с разработкой технологии и процесса производства грибного наполнителя, получаемого из культивируемых грибов.

Для решения поставленной цели на первом этапе нами были разработаны технологии двух холодных супов с оценкой их применимости для производства грибного наполнителя, получаемого высушиванием и измельчением грибов опят.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследования нами была разработана рецептура холодных супов двух видов. Один из них рыбный, в состав которого добавляется концентрат рыбного бульона или специально подготовленный порошок из мелко измельчённой высушенной рыбы. В состав второго входят исключительно овощи. Такой суп обладает насыщенным томатно-грибным ароматом и в своём составе содержит следующие компоненты:

- томаты свежие, выращенные в открытом грунте, например, сорт Махитос f1 (ГОСТ 34298-2017 «Томаты свежие. Технические условия»);
- огурцы консервированные (ГОСТ 31713-2012 «Консервы. Огурцы, кабачки, патиссоны с зеленью в заливке. Технические условия»);
- перец сладкий красный (ГОСТ 34325-2017 «Перец сладкий свежий. Технические условия»);
- грибы сушёные, нарезанные слайсами (ГОСТ 33318-2015 «Грибы сушёные. Технические условия»);
- базилик зеленый мелколистный (ГОСТ Р 56562-2015 «Базилик свежий – зелень. Технические условия»);
- укроп, например, сортов «Зелёный шторм», «Спартак», «Владыка» (ГОСТ 32856 «Укроп свежий. Технические условия»).

Все подготовленные ингредиенты, кроме грибов, блендируются. Полученную смесь необходимо соединить с приготовленными особым образом грибами, что позволит добавить белковый компонент в готовый продукт, придав ему особый вкус, аромат и текстуру.

В качестве объекта исследований нами были выбраны грибы опята. Выбор опят из всех пластинчатых грибов в качестве модульного составляющего дополнительного сырья обусловлен целым рядом факторов, сочетающих в себе практичность, доступность и научную обоснованность. Во-первых, опята – грибы достаточно распространённые, легко культивируемые в лабораторных условиях и в больших объёмах. Это упрощает проведение масштабных экспериментов и получение статистически значимых данных. Во-вторых, разнообразие видов опят позволяет выбрать те, у которых температурная чувствительность выражена наиболее ярко. Разные виды опят поразному реагируют на повышение температуры, что создает возможность для сравнительного анализа и выявления ключевых механизмов термолабильности. Например, *Armillariamellea* (опенок осенний) и *Armillariagallica* (опенок толстоногий) демонстрируют различные уровни устойчивости к высоким температурам, что может быть использовано для выявления генетических и биохимических различий. В-третьих, опята, особенно осенние, обладают ярко выраженным грибным ароматом и вкусом, который усиливается при сушке, придавая бульонам и супам насыщенный и аппетитный вкус. Все эти факторы делают их доступным и экономически выгодным сырьем для заготовки впрок.

На сегодня существует много методов переработки съедобных грибов. Одним из видов переработки грибов является их высушивание [12, 13].

Одной из особенностей грибов является то, что после сбора в них некоторое время продолжаются, а в отдельных случаях усиливаются биохимические процессы, поддерживаемые остаточной активностью ферментов, которую ускоряет повышение температуры за счёт самосогревания. При этом усиливается деградация присущих грибам биологически-активных веществ. Для предотвращения такого рода порчи необходимо применять различные технологические методы консервации. Ввиду того, что влажность свежесобранных грибов находится в диапазоне от 87 до 95 %, то одним из наиболее действенных методов их обезвоживания является сушка.

При уменьшении влаги от начальной 87–95 % до конечной 15–20 % активность ферментов резко снижается [12]. При достижении влажности 10–14 % деятельность ферментов практически полностью прекращается. Кроме того, благодаря значительному уменьшению в грибной массе влаги, задерживается и

прекращается развитие патогенной микрофлоры, вызывающей порчу сырья [13].

Выбор способа сушки зависит от морфолого-анатомического строения сырья, его химического состава, стабильности биологически-активных веществ [14, 15].

Выбор того или иного способа сушки грибов зависит от конкретных условий, согласно [13] таковыми являются:

1) географическое расположение пункта сбора и сушки;

2) среднемесячная температура в летний период времени;

3) среднесуточная продолжительность солнечных часов;

4) наличие и простота подвода энергоресурсов;

5) наличие сырьевых площадок;

6) объём перерабатываемого сырья;

7) требования к качеству сушёного продукта.

Высушенные до требуемой, в зависимости от дальнейшего использования, влажности грибы используются в качестве ингредиентов для различных приправ, соусов, суповых смесей, или регидратируются перед дальнейшим применением.

От метода, условий, времени сушки и в значительной степени от температуры сушильного агента зависят получаемые показатели качества высушенных грибов, такие как цвет, текстура, вкус и аромат. Несмотря на большое количество исследований по сушке различных видов грибов, которое спровоцировано значительным возрастанием интереса к использованию грибов, имеется только ограниченное количество работ по обезвоживанию резаных грибов [16, 17]. Исходя из вышеизложенного, на данном этапе необходимо было провести исследования по изучению поведения грибов опят при различных температурах сушильного воздуха и определение кинетики сушки опят как целых, так и нарезанных пластинами.

Перед проведением исследований свежесобранные культивируемые грибы опята, приобретённые на предприятии ООО «Лесовичок» Ростовской области, были отсортированы по размеру и однородной зрелости.

Исследования качества сырья и сушёной продукции проводили в научно-исследовательской лаборатории кафедры товароведения продовольственных товаров и экспертизы продукции сельского хозяйства ФГБОУ ВО ДОННУЭТ, а также в санэпидемстанции города Донецка. В грибах определяли содержание: водоизвлекаемых белков, глюкозы, ионов макро- и микроэлементов (железа, фосфора, кальция и магния), общее содержание жиров – по Сокслету, липопротеиды – по соответствующим методикам, а также влажность и органолептические показатели качества на соответствие требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 33318-2015 «Грибы сушёные. Технические условия» (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в качестве национального стандарта РФ от 01. 01.2015г. № 1035-ст.). Driedmushrooms. Specifications. Дата введения – 1 января 2017 г. Правила приемки, отбора проб и методы испытаний сушёных грибов (ограничение срока действия снято). Кроме указанных показателей качества в сушёных грибах определяли червивость по «СП 2.3.4.009-93. Санитарные правила по заготовке, переработке и продаже грибов» (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 20.08.1993 № 10). Сущность методики следующая: из средней пробы выделяли две навески по 50 ломтиков резаных грибов. Затем грибы заливали водой (комнатной температуры). После набухания тканей грибов в течение 20–30 минут разламывали кусочки и освобождали личинки. Всплывшие на поверхность воды личинки количественно переносили на чистую марлю. Расчет червивости проводили в пересчете на один кусочек и сравнивали с допуском стандарта, которым установлены нормы содержания личинок (5–8 штук).

Средняя начальная влажность исследуемых грибов была определена стандартным арбитражным методом [18]. Для уточнения и перепроверки полученных значений влажности были проведены исследования с использованием вакуумной сушилки, в которой происходило высушивание отобранных грибов в течение одних суток при температуре 70 ± 2 ºС. После высушивания исследуемые образцы охлаждали в лабораторном эксикаторе стеклянном 1–150 и взвешивали с помощью аналитических электронных весов (Mertech M-ER 122ACFJR-300.005 Accurate), чувствительность 0,005 гр. Для опят средняя начальная влажность составила 89,3 %.

Для проведения исследований образцы опят не подвергались какой-либо подготовке. Исследуемые образцы нами были разделены на две партии – целые и нарезанные. При этом резку грибов производили таким образом, чтобы получить пластины толщиной 4,5–5 мм.

Сушку как целых, так и нарезанных грибов проводили с использованием лабораторной сушильной установки с замкнутым контуром [15], схема которой представлена на рисунке 1.

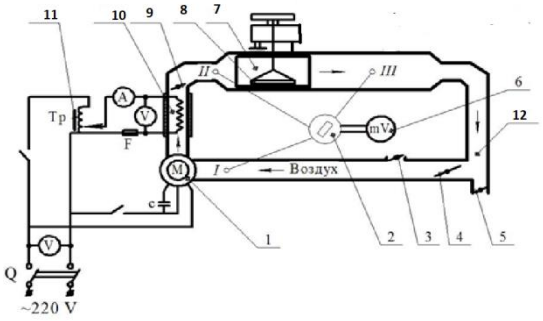


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда сушильной установки с замкнутым контуром: 1 – центробежный вентилятор; 2 – потенциометр; 3, 4, 5 – заслонки; 6 – милливольтметр; 7 – сушильная камера; 8 – платформа; 9 – регулирующая заслонка; 10 – калорифер; 11 – лабораторный трансформатор; 12 – воздушный контур

Figure 1 – Diagram of the experimental stand of a closed-loop drying unit: 1 – central fan; 2 – potentiometer; 3, 4, 5 – shutters; 6 – millivoltmeter; 7 – drying chamber; 8 – platform; 9 – control flap; 10 – heater; 11 – laboratory transformer; 12 – air con tour

Перед осуществлением самого процесса сушки установка в течение двух часов работала без размещения в ней образца, после чего навеску грибов около 100 грамм равномерно распределяли на платформе, связанной с весами. Изменение веса исследуемого образца непрерывно контролировалось с интервалом в 5 мин в течение 180–440 мин. Согласно [15, 16], конвективную сушку независимо от типа сушилки следует вести при скорости движения теплоносителя не менее 0,5 м/с и следующих температур-

ных режимах в зависимости от вида грибов: шампиньоны и вешенку сушат при 50±5 ºС, кольцевик и маслята – при 75±5 ºС, опята и лисички при 50-70 ± 5 ºС. Исходя из этого нами использовались три значения температуры сушки 50, 60 и 70 ºС. Изменение веса фиксировали до достижения установившегося значения. Повторность эксперимента была двухкратная.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание влаги в грибах как функция времени сушки при различных температурах представлено на рисунке 2 для целых и нарезанных опят соответственно (рисунок 3).

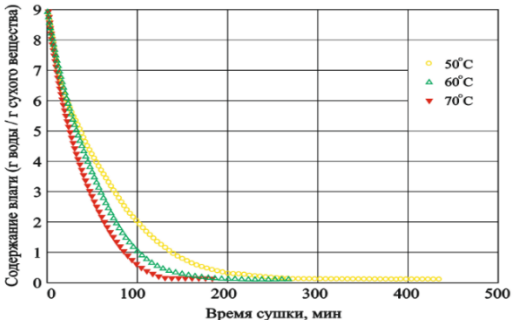


Рисунок 2 – Кривые сушки, полученные для целых опят

Figure 2 – Drying curves obtained for whole grains

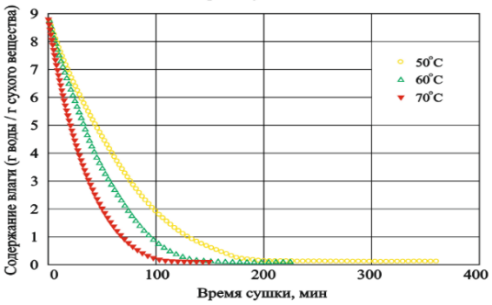


Рисунок 3 – Кривые сушки, полученные для нарезанных опят

Figure 3 – Drying curves obtained for sliced honey mushrooms

Кинетика сушки образцов грибов в значительной степени зависела от температуры сушки и площади поверхности образцов грибов.

Кривые сушки и скорости сушки как целых опят, так и нарезанных, в значительной степени отличаются от классических кривых сушки и скорости сушки капиллярно-пористых материалов, что свидетельствует о том, что несмотря на высокое влагосодержание исходного сырья, большая часть влаги находится внутри образцов в связанном состоянии (физико-механическая связь). Свободная влага и механически связанная влага в основном удаляется в первые 15–25 минут сушки, что составляет не более 8–15 % от общей продолжительности процесса. Таким образом, большая часть энергии от теплоносителя расходуется на разрушение связи влаги с исходным сырьем и ее массоперенос внутри продукта. В случае нарезанных опят требуемое расстояние для переноса влаги уменьшается, и, как следствие, уменьшается общая продолжительность процесса сушки.

В случае сушки целых опят неповреждённый наружный слой, так называемый внеплодник, или экзокарпий, оказывает некоторое сопротивление испарению влаги.

Оценить взаимосвязь между скоростью сушки и содержанием влаги можно, проанализировав кривые скорости сушки как для целых грибов (рисунок 4), так и для нарезанных (рисунок 5).

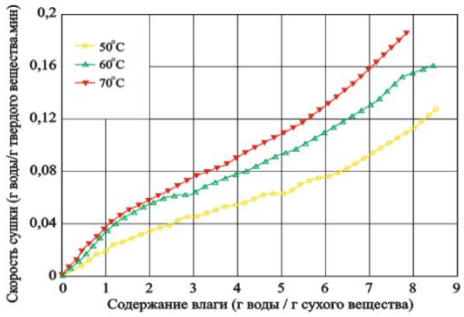


Рисунок 4 – Кривые скорости сушки, полученные для целых опят

Figure 4 – Drying rate curves obtained for whole grains

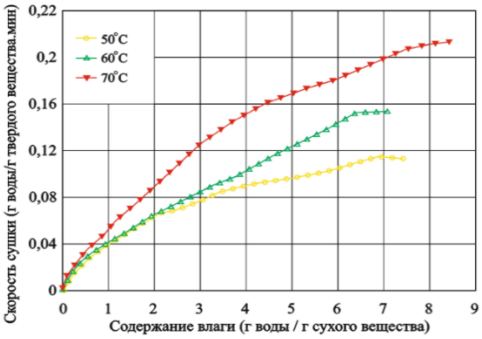


Рисунок 5 – Кривые скорости сушки, полученные для нарезанных опят

Figure 5 – Drying rate curves obtained for sliced honey mushrooms

Наблюдаемое в наших исследованиях отсутствие периода постоянной скорости сушки аналогично исследованиям по сушке шампиньонов [19] и грибов шиитаке [20]. Рисунки 4 и 5 также демонстрируют практически линейную зависимость снижения скорости сушки обоих образцов грибов от уменьшения содержания влаги. По указанным выше причинам и скорость сушки нарезанных опят была выше, чем у целых грибов при том же содержании влаги. Также очевидным является увеличение скорости сушки с увеличением температуры сушки как для нарезанных, так и для целых образцов опят.

ВЫВОДЫ

Исходя из полученных зависимостей, оптимальная температура сушки, составляет 60 ºС. При такой температуре скорость сушки является наивысшей по сравнению с 50 ºС и 70 ºС для большинства диапазонов влажности. Однако есть два возможных исключения: при очень низком содержании влаги (ниже 1 г воды/г сухого вещества) скорость сушки схожа для всех температур. При высоком содержании влаги скорость сушки при 70 ºС становится выше, чем при 60 ºС. Хотя скорость сушки максимальна при 70 ºС на очень короткий период, в целом скорость сушки при 60 ºС оказывается более эффективной для более широкого диапазона влажности, что делает эту температуру оптимальным выбором. Однако необходимо

отметить, что такой вывод основан на полученных нами конкретных условиях, представленных графиками сушки. В других ситуациях такие факторы, как тип материала, который сушится, желаемое конечное содержание влаги и чувствительность вещества к высоким температурам, могут повлиять на оптимальное значение температуры сушки.

В дальнейшем полученные данные будут использованы при составлении рецептуры грибных наполнителей с определением физико-химических, микробиологических и реологических характеристик.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального агентства по рыболовству № 076-00008-24-00 на 2024 год и плановый период 2025 и 2026 годов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 19327-84 Концентраты пищевые. Первые и вторые обеденные блюда. Общие технические условия : введ. 01.01.1986. Москва, 2003. 22 с.

2. ГОСТ 23600-79 Концентраты пищевые. Супы сухие с рыбой и морепродуктами. Технические условия : введ. 01.07.1980. Москва, 2023. 7 с.

3. Fernández-López J., Botella-Martínez C., Navarro Rodríguez De Vera C. [et al.]. Vegetable Soups and Creams: Raw Materials, Processing, Health Benefits, and Innovation Trends // Plants. 2020. Vol. 9. P. 1769. DOI: 10.3390/plants9121769.

4. El Wakeel M.A. Ultra-Structure and Functional Properties of Some Dry Mixes of Food: Master's Thesis. Cairo: Faculty of Agriculture Ain Shams University, 2007.

5. Винницкая В.Ф., Перфилова О.В., Акишин Д.В., Брыксина К.В. Ассортимент и технология приготовления супов-пюре для здорового и диетического питания из сушеных овощей и грибов // Наука и образование. 2023. № 1. С. 101.

6. Катанаева Ю.А., Соколов С.А., Севаторов Н.Н. Современное состояние технологий с использованием высокого давления для обработки пищевых продуктов // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2022. № 3. С. 143–161.

7. Инновации в пищевой промышленности : коллективная монография к 60-летию института пищевых производств Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского / Соколов С.А. [и др.]. Донецк : ФГБОУ ВО «ДОННУЭТ», 2023. 504 с.

8. Суповые концентраты. Технология // Северо-Западная Сырьевая Компания: интернет-портал. URL: https://n-wrc.ru/blog/supovye-koncentraty-tehnologija/?ysclid=mjl9ycaruo50744967. (дата обращения: 20.09.2024).

9. Объем рынка концентрированных консервированных супов – по типу продукта, каналу сбыта, формату упаковки, прогноз на 2025–2034 годы. URL: https://www.gminsights.com/ru/industry-analysis/condensed-canned-soups-market. (дата обращения: 20.09.2024).

10. Dauodi L. Efecto de las Altas Presiones Hidrostátiocassobreel Gazpacho y zumo de uva. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Ciència Animal i dels Aliments. 2004. 161 p.

11. Медведкова И.И., Соколов С.А., Яшонков А.А. Анализ содержимого липидов и продуктов их распада при хранении свежих культивируемых грибов Strophariarugosoannulala // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2024. № 2. С. 72–78.

12. Верещагин А.Л., Щеглова И.В. Сушка грибов в нестационарных условиях // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 1. С. 71–72.

13. Жук Ю.Т. Консервирование и хранение грибов (биохимические основы). М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. 144 с.

14. Гинзбург А.С., Савина И.М. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. 280 с.

15. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. М. : Пищевая промышленность, 1973. 528 с.

16. Yapar S., Helvaci S.S., Pecker S. Drying behavior of mushroom slices // Drying Technology. 1990. Vol. 8. P. 77–79.

17. Остриков А.Н., Шевцов С.А. Исследование гидродинамики процесса сушки грибов перегретым паром // Хранение и переработка сельхозсырья. 2004. № 2. С. 24–25.

18. Данина М.М. Основы технологии пищевых продуктов: учеб.- метод. пособие. СПб. : Университет ИТМО, 2016. 42 с.

19. Жук Ю.Т., Цапалова И.Э. Физико-химические изменения в сушеных грибах при хранении // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1975. № 2. С. 94–95.

20. Медведкова И.И. Необходимость усовершенствования процесса тепловой сушки съедобных грибов как перспективное направление создания пищевых продуктов // Сборник тезисов докладов участников пула научно-практических конференций. 2020. С. 136–138.

21. Pal U.S., Chakraverty A. Thin layer convection-drying of mushrooms // Energy Conversion and Management. 1997. Vol. 38. P. 107–113.

22. Giri S.K., Prasad S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms // Food engineering. 2007. Vol. 78. P. 512–521.

23. Lin-Lin Qi, Min Zhang, Arun S. Mujumdar, Xiang-Yong Meng, Hui-Zhi Chen. Comparison of Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushrooms (Lentinus edodes) Using Different Drying Methods // Drying Technology: An International Journal. 2014. Vol. 32(15). P. 1751–1761. DOI: 10.1080/07373937.2014.929588.

Информация об авторах

И. И. Медведкова – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры товароведения ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского».

С. А. Соколов – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет».

А. А. Яшонков – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет».

Information about the authors

I.I. Medvedkova - Ph.D. (Engin.), Associate professor, Professor of the Department of Commodity Science Donetsk National University OF Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky.

S.A. Sokolov - Dr. Sci. (Engin.), professor, Professor of the Department of machines and apparatus of food production Kerch State Maritime Technological University.

A.A. Yashonkov - Ph.D. (Engin.), Associate professor, Head of the Department of machines and apparatus for food production Kerch State Maritime Technological University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 147–151.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 147–151.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.769
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.022 EDN: OWATVH

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭКСТРУДАТА

Денис Александрович Алесенко [1], Василий Викторович Матюшев [2], Ирина Александровна Чаплыгина [3], Алексей Андреевич Беляков [4]

[1, 2, 3] Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
[1] korven-dalas@rambler.ru, https://orcid.org/0009-0006-1621-6510
[2] don.matyusheff2015@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0005-1691-1380
[3] ledum_palustre@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6695-0808
[4] Красноярский государственный аграрный университет. Ачинский филиал, Ачинск, Россия
[4] bellimfor@yandex.ru, https://orcid.org/

Аннотация. *Одной из основных операций производства экструдата из зерна пшеницы и в дальнейшем получение текстурированной муки в пищевых системах является его охлаждение. Для исключения спекания белковой составляющей продукта его необходимо охладить до температуры не более чем на 10 °С, превышающей температуру окружающей среды. Анализ технических средств для охлаждения экструдата показал, что они имеют низкую интенсивность охлаждения готового продукта вследствие недостатков конструкции теплообменного аппарата. Целью исследования являлось совершенствование технологического процесса получения экструдата посредством модификации звена охлаждения материала и оптимизации конструктивно-режимных параметров охладительной установки с учётом теоретически вычисленного компромиссного оптимума. Для оптимизации процесса охлаждения полуфабриката использованы методы планирования эксперимента и математической обработки полученных данных. Реализацию плана проводили с применением пакета регрессионного анализа Data Fit и специализированного программного пакета Statistics системы компьютерной математики Maple. Были проведены исследования с учетом влияния факторных показателей на продолжительность и энергоёмкость процесса охлаждения экструдата. В серии опытов уточнены значения результатных показателей процесса охлаждения экструдата в параметрической области компромиссного оптимума, формируемого конструктивно-режимными параметрами работы установки. Обеспечены следующие качественные показатели зернового экструдата: влажность 8,74 %, снижение влажности на 15–27 %, снижение потерь белка на 13,65 % при сохранении остальных химико-технологических характеристик. Отклонение фактических данных конструктивно-режимных параметров от аналогичных теоретических параметров, формирующих компромиссный оптимум, по абсолютной величине не превышает 5 %. При выборе значений конструктивно-режимных параметров в окрестности точки компромиссного оптимума, а именно скорости вращения вала 17 об/мин и угла наклона лопастей 10 град., фактически полученные значения продолжительности 0,073 ч и энергоёмкости 0,004 кВт·ч/кг, отклоняются от аналогичных теоретически вычисленных значений по абсолютной величине не более чем на 5 %.*

Ключевые слова: *установка, охлаждение, экструдат, белковая составляющая, компромиссный оптимум, скорость вращения, угол наклона, вал, лопасть, продолжительность, энергоёмкость.*

***Для цитирования*:** Оптимизация конструктивно-режимных параметров установки для охлаждения экструдата / Д. А. Алесенко [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 147–151. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.022. EDN: https://elibrary.ru/OWATVH.

Original article

OPTIMIZATION OF DESIGN AND OPERATING PARAMETERS FOR EXTRUDATE COOLING SYSTEM

Denis A. Alesenko [1], Vasily V. Matyshev [2], Irina A. Chaplygina [3], Aleksey A. Belyakov [4]

[1, 2, 3] Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
[1] korven-dalas@rambler.ru, https://orcid.org/0009-0006-1621-6510
[2] don.matyusheff2015@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0005-1691-1380
[3] ledum_palustre@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6695-0808
[4] Krasnoyarsk State Agrarian University, Achinsk branch, Achinsk, Russia
[4] bellimfor@yandex.ru, https://orcid.org/

© Алесенко Д. А., Матюшев В. В., Чаплыгина И. А., Беляков А. А., 2026

Abstract. *One of the main operations in the production of extrudates from wheat grain and subsequent obtaining of textured flour in food systems is its cooling. To prevent caking of the protein component of the product, it must be cooled to a temperature no more than 10 °C above the ambient temperature An analysis of technical means for cooling extrudates has shown that they have a low intensity of cooling the finished product due to deficiencies in the design of the heat exchanger. The aim of the study was to improve the technological process of producing extrudates by modifying the material cooling link and optimizing the design and operational parameters of the cooling unit, taking into account the theoretically calculated compromise optimum. To optimize the semi-finished product cooling process, methods of experiment planning and mathematical processing of the obtained data were used. The implementation of the plan was carried out using the regression analysis package Data Fit and the specialized software package Statistics from the Maple computer mathematics system. Studies were conducted taking into account the influence of factor indicators on the duration and energy intensity of the extrudate cooling process. In a series of experiments, the values of the resultant indicators of the extrudate cooling process were refined within the parametric range of the compromise optimum formed by the design and operating parameters of the installation. The following quality indicators of grain extrudate were achieved: moisture content of 8.74 % (a reduction in moisture by 15-27 %), a reduction in protein loss by 13.65 %, while maintaining the remaining chemical and technological characteristics. The deviation of the actual design and operating parameter data from their analogous theoretical parameters forming the compromise optimum does not exceed 5 % in absolute value. When selecting the design and operating parameters in the vicinity of the point of compromise optimum, specifically, a shaft rotation speed of 17 rpm and a blade inclination angle of 10 degrees, the actually obtained values of duration (0.073 hours) and energy consumption (0.004 kW·h/kg) deviate from their corresponding theoretically calculated values by no more than 5 % in absolute terms.*

Keywords: *installation, cooling, extrudate, protein component, compromise optimum, rotation speed, tilt angle, shaft, blade, duration, energy consumption.*

For citation: Alesenko D. A., Matyshev V. V., Chaplygina I. A. & Belyakov A. A. (2026). Optimization of design and operating parameters for extrudate cooling system. Polzunovskiy vestnik, (1), 147-151. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.022. EDN: https: //elibrary.ru/OWATVH.

ВВЕДЕНИЕ

Улучшение и модернизация уже существующих, а также разработка совершенно новых технологий и оборудования для переработки зерновых культур является важной задачей, решение которой может быть достигнуто в том числе благодаря применению экструзионных процессов. Изменение свойства исходного сырья в результате экструзии позволяет получать конечную продукцию с определенными, заранее заданными характеристиками [1–9].

Одной из значимых операций в процессе производства экструдата из крахмалосодержащего сырья (зерновые культуры и их смеси) является его эффективное охлаждение. Рациональный подход к процессу охлаждения экструдата играет важную роль в определении качественных характеристик готового продукта, а также влияет на его потребительские характеристики и общую энергоэффективность производственного процесса.

Температура зернового экструдата после процесса охлаждения не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 10 ºС. Соблюдение данного условия позволяет исключить спекания белковой составляющей продукта [10, 11].

На основании анализа технических средств для охлаждения зернового экструдата, применяемых в существующих технологических линиях установлено, что они имеют низкую интенсивность охлаждения готового продукта вследствие недостатков конструкции теплообменного аппарата [12, 13, 14].

В связи с этим исследования, направленные на создание нового оборудования для охлаждения экструдата, установление закономерностей процесса охлаждения с целью определения рациональных конструктивно-режимных параметров и режимов работы охладителей, являются актуальными.

Цель исследования: совершенствование технологического процесса получения экструдата зерна пшеницы посредством модификации звена охлаждения материала и оптимизации конструктивно-режимных параметров охладительной установки с учётом теоретически вычисленного компромиссного оптимума.

МЕТОДЫ

Объектом исследования являлся процесс охлаждения экструдата в рабочей камере разработанного охладителя. Предмет исследования – конструктивно режимные параметры работы охладителя. В качестве материала для исследования был выбран экструдат из зерна пшеницы, полученный на экструдере ЭК-100 при температуре 120–130 ºС и давлении 3–4 МПа. Выбор материала исследования обоснован его широким применением в технологиях получения текстурированной муки, пищевых ингредиентов и функциональных продуктов питания. Оценку сохранности качества зернового экструдата контролировали по показателям: температура после охлаждения, влажность, насыпная плотность, содержание белка и крахмала. Критериями оптимизации работы установки выбраны: обеспечение конечной температуры экструдата не более чем на 10 ºС выше температуры окружающей среды (как условие предотвращения спекания белков); минимизация продолжительности процесса охлаждения (ч); минимизация энергоёмкости процесса (кВт·ч/кг).

Для оптимизации процесса охлаждения экструдированного зернового продукта, повышения точности и надёжности оценки скорости вращения вала и угла наклона лопастей использованы методы планирования эксперимента и математической обработки полученных данных. Реализацию плана проводили с применением пакета регрессионного анализа Data Fit и специализированного программного пакета Statistics системы компьютерной математики Maple.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Учеными Красноярского ГАУ была разработана, запатентована и изготовлена конструкция охладителя экструдата [15] (рисунок 1). Рабочая камера с лопастями представлена на рисунке 2.

На основании теоретических исследований, проведенных учеными Красноярского ГАУ, было установлено, что оптимальные конструктивно-режимные характеристики работы охладителя экструдата формируются

посредством выбора загружаемого веса в охладитель 9 кг (полная загрузка установки), скорости вращения вала 17 об/мин, угла наклона лопастей 10 град., температуры хладоагента – 1,17 ºС, скорости потока хладагента 4,28 м/с, градиента температур зернового экструдата (разность температуры экструдата после экструдера и охладителя) 38,9666 ºС. В области эффективности процесса охлаждения экструдата величины продолжительности и энергоёмкости оцениваются соответственно значениями 0,0728 ч и 0,0039 кВтч/кг.



Рисунок 1 – Общий вид установки для охлаждения экструдата

Figure 1 – General view of the extrudate cooling unit



Рисунок 2 – Рабочая камера с лопастями

Figure 2 – Working chamber with blades

Для повышения точности прогноза состояния системы по значениям результатных показателей процесса охлаждения с учётом конструктивно-режимных параметров работы установки выполнена серия дополнительных корректирующих экспериментов. Составлен план по исследованию продолжительности (y_1, ч) и энергоёмкости (y_2, кВт ч/кг) процесса охлаждения зернового экструдата при условии заполнения охлаждаемого цилиндра экструдатом веса x_1 = 9 кг, когда температура охлаждающего агента x_4 = - 1,2 ºС, скорость потока охлаждающего воздуха – x_5 = 4,3 м/с, а градиент температур x_6 = 39 ºС. В качестве двух факторных показателей выбрали: скорость вращения вала (x_2, об/мин) и угол наклона лопастей (x_3, град.), которые варьировали, соответственно, на 5 и 6 уровнях:

$$x_2 = 10, 14, 18, 22, 26 \text{ об/мин}$$

и

$$x_3 = 0, 6, 12, 18, 24, 30 \text{ град.}$$

Средняя длина зернового экструдата после отсекателя стренга составляла 47 мм. Влажность экструдата после экструдера составляла 29 %, после охлаждения на экспериментальной установке – 8,74 %. Насыпная плотность экструдата после охлаждения составляла 180 кг/м^3, что свидетельствует о формировании структурно-однородной массы.

Содержание белка в охлажденном зерновом экструдате варьировало в диапазоне от 13,78 % до 15,95 % в зависимости от режима охлаждения. Применение разработанной установки с активным перемешиванием и принудительной подачей охлаждённого воздуха позволило снизить потери белка в среднем на 13,65 % по сравнению с пассивным охлаждением в базовом варианте.

Содержание крахмала (73,4–79,1 %), жира (0,61–0,72 %), клетчатки (3,02–3,45 %), сахаров (2,44–3,64 %), а также энергетическая ценность (382–384 ккал) и обменная энергия (14,17–14,41 МДж/кг) изменяются незначительно, что свидетельствует о сохранении основных пищевых и энергетических характеристик продукта.

Предварительный анализ опытных данных показал, что фактическая продолжительность конкретного случайного процесса охлаждения экструдата изменяется в диапазоне 0,070–0,074 ч, а его энергоёмкость составляет 0,003–0,005 кВт·ч/кг.

Экспериментальный поиск оптимальной продолжительности процесса охлаждения полуфабриката (y1, ч) в зависимости от скорости вращения вала x2, об/мин и угла наклона лопастей (x3, град.) и при фиксированных значениях факторов x1 = 9 кг, , x4 = - 1,2 ºС, x5 = 4,3 м/с, x6 = 39 ºС выполнен по областям множества Ω = [10, 26] [0, 30]. Области уровня, образованные между его линиями уровня, изображают изменения результатного показателя посредством интенсивности окраски заполняемых областей: от минимального светлого до максимального тёмного цвета с шагом 10 %.

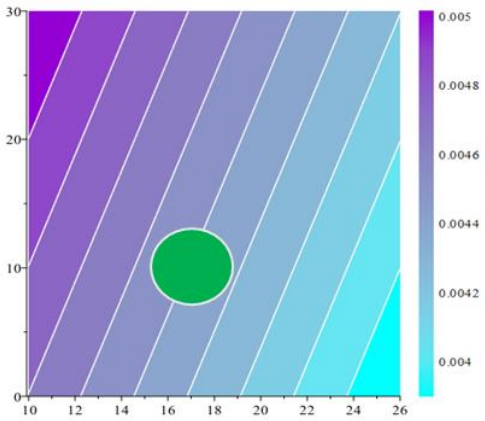


Рисунок 3 – Линии уровня продолжительности охлаждения экструдата (y1, ч) при изменениях скорости вращения вала (x2, об/мин), угла наклона лопастей (x3, град.)

Figure 3 – Lines of the cooling time of the extrudate (y1, h) with changes in the speed of rotation of the shaft (x2, rpm), the angle of inclination of the blades (x3, deg.)

В этом случае средние значения по областям уровней результатного показателя соответственно составляют 5 %, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 % от максимума результатного показателя. Область эффективности – окрестность точки компромиссного оптимума заполнена зелёным цветом (рис. 3).

Выбор любой точки из области эффективности для функции продолжительности процесса практически (меньше чем на 10 %) не отличается от выбора точки минимума этого процесса. Аналогично построены 19 линий уровня и 20 областей, в которых указанное отличие будет меньше чем на 5 %.

В серии опытов определена возможная продолжительность процесса охлаждения 0,073 ч, которая близка к теоретически вычисленной оценке 0,0728 ч, и достигается при выборе скорости вращения вала 17 об/мин и угла наклона лопастей 10 град.

Экспериментальный поиск оптимальной энергоёмкости процесса охлаждения полуфабриката (y_2, кВт ч/кг) в указанном частном случае в зависимости от скорости вращения вала (x_2, об/мин) и угла наклона лопастей (x_3, град.) выполнен на множестве $\Omega = [10, 26] [0, 30]$.

При построении 9 линий уровня выстраиваются 10 областей уровня, а средние значения результатного показателя по этим областям составляют 5 %, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 % от максимума результатного показателя. Область эффективности – окрестность точки компромиссного оптимума (рис. 4).

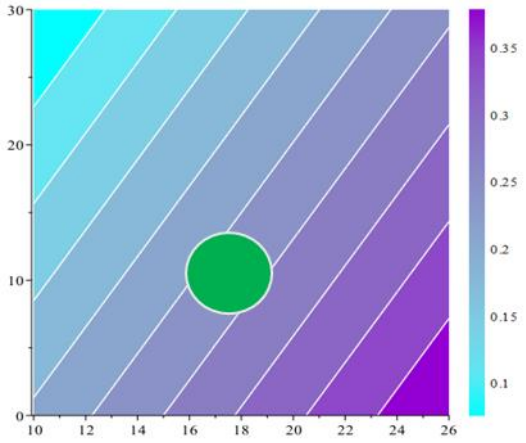


Рисунок 4 – Линии уровня энергоёмкости охлаждения экструдата (y2, кВт ч/кг) при изменениях скорости вращения вала (x2, об/мин), угла наклона лопастей (x3, град.)

Figure 4 – Lines of the cooling energy intensity of the extrudate (y2, kWh/ kg) with changes in the speed of rotation of the shaft (x2, rpm), the angle of inclination of the blades (x3, deg.)

В серии опытов определена возможная энергоёмкость процесса охлаждения 0,004 кВтч/кг, близкая к теоретической величине 0,0039 кВтч/кг и которая достигается при выборе скорости вращения вала 17 об/мин и угла наклона лопастей 10 град с точностью приближения до 5 %.

ВЫВОДЫ

1. В серии опытов уточнены значения результатных показателей процесса охлаждения экструдата в параметрической области компромиссного оптимума, формируемого конструктивно-режимными параметрами работы установки. Отклонение фактических данных конструктивно-режимных параметров от аналогичных теоретических параметров, формирующих компромиссный оптимум, по абсолютной величине не превышает 5 %.

2. При выборе значений конструктивно-режимных параметров в окрестности точки компромиссного оптимума, а именно, скорости вращения вала 17 об/мин и угла наклона лопастей 10 град., фактически полученные значения продолжительности 0,073 ч и энергоёмкости 0,004 кВт·ч/кг отклоняются от аналогичных теоретически вычисленных значений по абсолютной величине не более чем на 5 %.

3. Разработанная установка охладителя экструдата обеспечивает улучшение ключевых качественных показателей зернового экструдата, позволяя снизить его влажность на 15–27 %, потери белка на 13,65 %, при сохранении остальных химико-технологических характеристик на уровне, соответствующем требованиям к пищевым продуктам данного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахчевников О.Н. Экструдирование растительного сырья для продуктов питания (обзор) / О.Н. Бахчевников, С.В. Брагинец // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 4. С. 690–706. doi: 10.21603/2074-9414-2020-4-690-706.

2. Экструдирование поликомпонентной смеси крахмалосодержащего сырья и мезги плодоовощных культур / В.В. Ваншин [и др.] // Вестник ОГУ. 2014. № 1 (162). С. 156–160.

3. Применение отечественных экструзионных ингредиентов в хлебопекарном производстве / Е.В. Жиркова [и др.] // Хлебопродукты. 2016. № 2. С. 36–39.

4. Использование экструдата из смеси зерна пшеницы и картофеля в хлебопечении / В.В. Матюшев [и др.] // Достижения науки и техники в АПК. 2017. Т. 31, № 8. С. 80–84.

5. Совершенствование технологии производства текстурированной муки / В.В. Матюшев [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5. С. 240–245. doi: 10.36718/1819-4036-2023-5-240-245.

6. Технология экструзионных продуктов / А.Н. Остриков [и др.]. 2-е изд. Санкт-Петербург : Проспект Науки, 2024. 200 с.

7. Фролов Д.И. Современные тенденции и перспективы использования экструдатов в функциональных пищевых продуктах // Инновационная техника и технология. 2018. № 3 (16). С. 10–15.

8. Шанина Е.В. Изменение химического состава экструдируемого сырья в процессе экструзии / Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. Материалы международной научно-практической конференции. 2018. С .155–156.

9. Экструдирование смесей пшеницы и выжимок моркови повышенной влажности в технологии продуктов, готовых к употреблению / А.Ю. Шариков [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 3 (77). С. 43–49. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-43-49.

10. Фролов Д.И., Курочкин А.А. К вопросу совершенствования экструзионных технологий / Инновационная техника и технология. 2015. № 2. С.18–23.

11. Алесенко Д.А. Анализ теоретических исследований охлаждения прессованных продуктов / Д.А. Алесенко // Инновационные тенденции развития Российской науки : Материалы XVII международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 04–06 марта 2024 года. Красноярск : Красноярский ГАУ, 2024. С. 397–400.

12. Матюшев В.В., Чаплыгина И.А., Алесенко Д.А. Совершенствование конструкции охладителя экструдатов // Научно-практические аспекты развития АПК : Ма-

териалы национальной научной конференции. Красноярск : Красноярский ГАУ, 2023. С. 214–216.

13. Эксплуатационные показатели линии охлаждения и пневмотранспорта полножирной экструдированной сои / С.В. Алексеев [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 2(34). С. 48–52.

14. Фоминых А.В., Овчинников Д.Н., Фомина С.В. Линия производства полножирной экструдированной сои с рекуперацией тепловой энергии // Вестник Курганской ГСХА. 2014. № 3(11). С. 83–85.

15. Охладитель сыпучих материалов: пат. 212621 Рос. Федерация № 2022105218; заявл. 25.02.2022; опубл. 01.08.2022, Бюл. № 22. 7 с.

Информация об авторах

Д. А. Алесенко – аспирант кафедры «Товароведение и управление качеством продукции АПК» Красноярского государственного аграрного университета.

В. В. Матюшев – доктор технических наук, профессор кафедры «Товароведение и управление качеством продукции АПК» Красноярского государственного аграрного университета.

И. А. Чаплыгина – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Товароведение и управление качеством продукции АПК» Красноярского государственного аграрного университета.

А. А. Беляков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерии» Ачинского филиала Красноярского государственного аграрного университета.

REFERENCES

1. Bakhchevnikov, O.N. & Braginets, S.V. (2020). Extruding vegetable raw materials for food products (review). *Technique and technology of food production,* (Т. 50, № 4), 690-706. (In Russ.). doi: 10.21603/2074-9414-2020-4-690-706.

2. Vanshin, V.V., Tuktamysheva, A.R., Novikova, L.V., Khalitova, E.Sh. & Zinyukhina, A.G. (2014). Extrusion of polycomponent mixture of starch-containing raw materials and fruit and vegetable crops pulp. *Vestnik OGU.* (№ 1 (162)), 156-160. (In Russ.).

3. Zhirkova, E.V., Martirosyan, V.V., Malkina, V.D. & Sevryukova, T.A. (2016). Application of domestic extrusion ingredients in bakery production. *Khleboprodukty.* (№ 2), 36-39. (In Russ.).

4. Matyushev, V.V., Chaplygina, I.A., Shpiruk, Yu.D., Baranovskaya, Yu.V. & Selivanov, N.I. (2017). Use of extrudate from a mixture of wheat and potato grains in baking. *Achievements of science and technology in agroindustrial complex,* (Т. 31, № 8), 80-84. (In Russ.).

5. Matyushev, V.V., Mirzhigot, A.S., Chaplygina, I.A. & Semenov, A.V. (2023). Improvement of the technology of textured flour production. *Vestnik KrasGAU,* (№ 5), 240-245. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2023-5-240-245.

6. Ostrikov, A.N., Magomedov, G.O., Derkanosova, N.M., Vasilenko, V.N., Abramov, O.V. & Platov, K.V. (2024). *Technology of extrusion products.* St. Petersburg : Prospect Nauka. (In Russ.).

7. Frolov, D.I. (2018). Modern trends and prospects for the use of extrudates in functional food products. *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologii.* (№ 3 (16)).10-15. (In Russ.).

8. Shanina, E.V. Changes in the chemical composition of extruded raw materials in the extrusion process. *Science and education: experience, problems, prospects of development. Materials of the international scientific and practical conference*. V.L. Bopp, E.I. Sorokataya. (Ed.). Krasnoyarsk : KSAU. (In Russ.).

9. Sharikov, A.Yu., Stepanov, V.I., Ivanov, V.V., Polivanovskaya, D.V. & Amelyakina, M.V. (2018). Extruding mixtures of wheat and carrot squeeze mixtures of increased moisture in the technology of products ready to use. *Vestnik of Voronezh State University of Engineering Technologies*, (Т. 80. № 3 (77)). 43-49. (In Russ.). doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-43-49.

10. Frolov, D.I. & Kurochkin, A.A. (2015). K question of improvement of extrusion technologies. *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya,* (№ 2). 18-23. (In Russ.).

11. Alesenko, D.A. Analysis of theoretical studies of cooling of extruded products. *Innovative trends in the development of Russian science: Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists.* D.D. Kharebin, N.S. Romanova, A.G. Mironov. (Ed.). Krasnoyarsk : KSAU. (In Russ.).

12. Matyushev, V.V., Chaplygina, I.A. & Alesenko, D.A. Improvement of the extrudate cooler design. *Scientific and practical aspects of agroindustrial complex development: Proceedings of the national scientific conference.* A.V. Kolomeitsev (Ed.). Krasnoyarsk : KSAU. (In Russ.).

13. Alekseev, S.V., Mikhailyuk, E.N., Fomina, S.V. & Kovshova, N.A. (2020). Performance indicators of the cooling line and pneumatic conveying of half-fat extruded soybean. *Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy*. (№ 2(34)). 48-52. (In Russ.).

14. Fominykh, A.V., Ovchinnikov, D.N.& Fomina, S.V. (2014). Production line of half-fat extruded soybean with heat energy recovery. *Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy*, (№ 3(11)). 83-85. (In Russ.).

15. Matyushev, V.V., Semenov, A.V., Chaplygina, I.A., Alesenko, D.A., Balyberdin, A.S. & Gorovenko, O.A. (2022). Cooler of bulk materials. Pat. 212621. *Russian Federation, published on 01.08.2022.* Bull. No. 22. (In Russ.).

Information about the authors

D.A. Alesenko - Postgraduate student at the Department of «Commodity Science and Quality Management of Agricultural Products» of the Krasnoyarsk State Agrarian University.

V.V. Matyushev - Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of "Commodity Science and Quality Management of Agricultural Products" of the Krasnodar State Agrarian University.

I.A. Chaplygina - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of «Commodity Science and Quality Management of Agricultural Products» of the Krasnodar State Agrarian University.

A.A. Belyakov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Agroengineering» at the Krasnoyarsk State Agrarian University Achinskbranch.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 161–157.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 152–157.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК577.112.5
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.023 EDN: XGUEMM

ПОЛУЧЕНИЕ БИОАКТИВНЫХ ПЕПТИДОВ ИЗ ВТОРИЧНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ МЕТОДОМ ФЕРМЕНТАЦИИ

Ольга Викторовна Чугунова [1], Дмитрий Иванович Девяткин [2], Павел Станиславович Бикбулатов [3], Наталия Валерьевна Заворохина [4]

[1, 2 ,3, 4] Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия
[1] chugun.ova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7039-4047
[2] devyatkdim@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5457-1613
[3] bikbulatovpavel@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1285-4797
[4] ip@usue.ru, https://orcid.org/ 0000-0001-5458-8565

Аннотация. *Масличные культуры представляют большую ценность в сельскохозяйственной промышленности благодаря высокому содержанию растительных жиров. Вовлечение в оборот вторичного сырьевого ресурса обработки семян, – жмыха, является актуальной проблемой для предприятий, поскольку процентное содержание данного продукта составляет в среднем 60–70 % от массы первоначального сырья. В настоящее время перспективным направлением признано использование растительных белков в качестве альтернативы белкам животного происхождения. Жмых подсолнечника является ценным источником питательных веществ и содержит до19,9–44,9 % белка. Целью настоящей работы является получение гидролизата белка и анализ биоактивных свойств выделенных пептидов. В раствор изолята, полученного методом щелочной экстракции с последующим осаждением органическим растворителем, вносили протеолитические ферменты микробного происхождения. После осаждения непрогидролизованного белка трихлоруксусной кислотой количество гидролизата определяли спектрофотометрически с использованием калибровочной кривой по методу Лоури. Методом insilico при помощи инструментов программы BIOPEP-UWM изучили биоактивные свойства выделенных пептидов на основе аминокислотных паттернов. Степень гидролиза при использовании протеиназы Р1 (лактосепина) составила 76 %, полученный гидролизат белка подсолнечника содержит пептиды со следующими биологическими свойствами: ингибиторы АПФ, ренина, ДПП-3, ДПП-4 и неприлизина; пептид, стимулирующий усвоение глюкозы, гипоурикемический пептид, регуляторный пептид.*

Ключевые слова: *шрот подсолнечника, щелочная экстракция, изолят белка, биоактивные пептиды, ферментативный гидролиз, биоактивные свойства, последовательность аминокислот, протеазы.*

Для цитирования: Чугунова О. В., Девяткин Д. И., Бикбулатов П. С., Заворохина Н. В. Получение биоактивных пептидов из вторичных сырьевых ресурсов методом ферментации // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 152–157. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.023. EDN: https://elibrary.ru/XGUEMM.

Original article

PRODUCTION OF BIOACTIVE PEPTIDES FROM SECONDARY RAW MATERIALS BY FERMENTATION

Olga V. Chugunova [1], Dmitry I. Devyatkin [2], Pavel S. Bikbulatov [3], Natalia V. Zavorokhina [4]

[1, 2, 3, 4] UralState University of Economics, Ekaterinburg, Russia
[1] chugun.ova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7039-4047
[2] devyatkdim@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5457-1613
[3] bikbulatovpavel@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1285-4797
[4] ip@usue.ru, https://orcid.org/ 0000-0001-5458-8565

Abstract. *Oilseedsare of greatvaluein the agriculturalindustrydue to their highcontent of vegetablefats. The handlingofthemainprocess of seed treatment,oilcake,is an urgentproblemforenterprises,since the percentageof the by–productisonaverage60-70%of the initialraw material.Currently, the useofplantproteinsas an alternative to animalproteins is recognized as a promisingdirection.Sunflowercakeis a valuablesource of nutrientswith a proteincontent of 19.9-44.9%. The purpose of thisworkis to obtainproteinhydrolysateandpredictiveanalysis of the bioactiveproperties of the isolatedpeptides.Proteolyticenzymes of microbialorigin were introducedinto the isolatesolutionobtainedbyalkalineextractionfollowed by precipitation with an organicsolvent.Afterprecipitationofthe non-hydrolyzed protein with trichloroaceticacid, the amount of hydrolysate was determinedspectrophotometricallyusing a calibrationcurve using theLowrymethod. The bioactiveproperties of the isolatedpeptidesbased on amino acid patterns were studied using the in silicomethod and thetools of the BIOPEP-UWMprogram. The degree of hydrolysisusingproteinaseP1(lactosepin)was76%,the resultingsunflowerpro-*

© Чугунова О. В., Девяткин Д. И., Бикбулатов П. С., Заворохина Н. В., 2026

teinhydrolysatecontainspeptideswith the followingbiologicalproperties:inhibitors of ACE,renin,DPP-3,DPP-4and non-lysine; a peptide that stimulatesglucoseuptake,hypouricemicpeptide,regulatorypeptide.

Keywords: *sunflower meal, alkaline extraction, protein isolate, bioactive peptides, enzymatic hydrolysis, bioactive properties, amino acid sequence, proteases.*

For citation: Chugunova, O. V., Devyatkin, D. I., Bikbulatov, P.S. & Zavorokhina, N. V. (2025). Production of bioactive peptides from secondary raw materials by fermentation. *Polzunovskiy vestnik,* (1), 152-157. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.023. EDN: https: //elibrary.ru/XGUEMM.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с данными Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), проблема недостаточного удовлетворения организма человека в белках характерна для всех регионов мира и в перспективе имеет тенденцию к ухудшению [1]. Согласно расчетам Института питания РАМН, дефицит пищевого белка в Российской Федерации по состоянию на 2024 год составляет 1 млн. т. [2, 3].

С учетом повышения спроса на растительные продукты, поиск новых источников белка в контексте альтернативного питания является актуальной задачей пищевой промышленности [4]. В целом отходы пищевых производств характеризуются богатым компонентным составом, традиционным же направлением их использования до сих пор остается изготовление удобрений и кормов для скота [5].

Доля вторичного сырьевого ресурса после обработки семян масличных культур при получении растительного масла составляет 60–70 % от массы первоначального сырья. Жмых подсолнечника является ценным источником питательных веществ с содержанием углеводов – 17,4–33,4 %, жира – 7,0–16,6 % и «сырого» протеина – 19,9–44,9 % [6–9].

Направление использования белка из растительных отходов с его включением в рацион питания человека признано перспективным, однако важно учитывать его потенциальную биологическую ценность, иначе говоря, – аминокислотный состав макронутриента, определяющий его полноценность и биоактивные свойства пептидов [10].

Общий аминокислотный профиль подсолнечного белка представлен в таблице 1.

Белок жмыха подсолнечника содержит рекомендуемый ФАО и ВОЗ процент незаменимых аминокислот за исключением метионина (М), в данном случае являющимся лимитирующей аминокислотой. Для восполнения её недостатка в питании важно сочетать белки из нескольких сырьевых источников.

К одному из способов повышения усвояемости макронутриента относится ферментативный гидролиз выделяемого белка с образованием биоактивных пептидов, состоящих из 2–20 соединенных аминокислотных остатков [11, 12].

Биоактивные пептиды обладают профилактическими и лечебными свойствами благодаря своим многообразным действиям, включая антиоксидантное, антигипертензивное, иммуномодулирующее, противомикробное, противоаллергическое и противовоспалительное воздействие [2].

Таблица 1 – Аминокислотный профиль белка подсолнечника г/100 г
Table 1 – Amino acid profile of sunf lower protein g/100 g

Аминокислота	Содержание		Эталонный белок по ФАО/ВОЗ	
	Семена	Жмых	дети	взрослые
Незаменимые аминокислоты				
V (валин)	3,5±0,7	5,8±0,0	4,3	4,0
L (лейцин)	5,45±1,35	7,8±0,0	6,6	6,1
I (изолейцин)	4,25±0,85	4,6±0,0	3,2	3,0
M (метионин)	3,7±0,8	1,4±0,0 (лимитирующая)	2,7	2,3
F (фенилаланин)	7,3±1	5,5±0,0	5,2	4,1
T (треонин)	3,45±0,65	3,8±0,0	3,1	2,5
K (лизин)	2,6±0,6 (лимитирующая)	6,1±0,0	5,7	4,8
H (гистидин)	2,6±0,8	2,4±0,0	2,0	1,6
Заменимые аминокислоты				
A (аланин)	5,55±1,15	–	–	–
D (аспаргиновая кислота)	9,7±1,5	–	–	–
C (цистеин)	4,2±1,5	1,6±0,0	2,7	2,3
E (глутаминовая кислота)	24,4±3	–	–	–
G (глицин)	8,1±0,7	4,5±0,0	–	–
P (пролин)	5,85±0,95	–	–	–
S (серин)	5,3±0,9	–	–	–
Y (тирозин)	2,05±0,55	3,5±0,0	5,2	4,1

В основном, получение биологически активных пептидов происходит в результате ферментативного гидролиза белков, при этом важно сохранить уникальную комбинацию активных аминокислотных последовательностей [3].

Целью исследования является получение гидролизата белка жмыха семян подсолнечника и анализ биоактивных свойств выделенных пептидов.

Пептиды различаются количеством аминокислот, аминокислотным составом и порядком соединения аминокислот. Пептидные связи очень прочные, и для их химического гидролиза требуются жесткие условия: высокие температура и давление, кислая среда и длительное время. В живой клетке пептидные связи могут разрываться с помощью протеолитических ферментов, называемых протеазами, или пептидгидролазами [13].

Биоактивные пептиды широко используются в функциональных продуктах питания благодаря своей

высокой эффективности, избирательности и низкой токсичности [14].

Биоактивные пептиды, также известные как биопептиды, представляют собой фрагменты белков, состоящие из 2–20 аминокислот, соединённых пептидными связями, и обладающие молекулярной массой менее 6 кДа. В последние годы интерес к биологической активности биопептидов, получаемых из пищевых белков, возрос как в научных исследованиях, так и в промышленности [14].

В отличие от физических смесей аминокислот аналогичного количества, короткоцепочечные пептиды, особенно ди- и трипептиды, легче усваиваются человеческим организмом благодаря наличию специфических транспортных систем для пептидов и улучшенной стабильности и/или растворимости пептидов. На сегодняшний день основными методами получения биопептидов из продуктов питания являются микробная ферментация и ферментативный гидролиз пищевых белков [10, 11].

МЕТОДЫ

Для получения изолята белка жмыха семян подсолнечника отделили (экстрагировали) прочие макронутриенты от исходного сырья в следующем порядке: углеводы, остаток жира. В качестве реактивов использовались растворы щелочей и кислот, а также органические растворители. Выбор данной методики обоснован высоким выходом конечного продукта с использованием минимального количества лабораторного оборудования [15].

Первый этап исследования – добавление к жмыху дистиллированной воды, гидромодуль – 1:10, для исследования взяли 10 г сырья. Осаждение углеводов проводилось путем щелочной экстракции с использованием 0,1 N раствора NaOH при уровне pH среды, равном 9. При повышении активной кислотности среды существует вероятность денатурации белка с потерей его свойств [16].

После добавления необходимого количества щелочи раствор перемешивали при температуре 40 ºС с использованием лабораторного шейкера (100–150 об/мин) в течение 60 мин. Далее раствор центрифугировали при помощи лабораторной центрифуги в течение 5 мин при 10 000 об/мин. Надосадочную жидкость отделяли от образовавшегося осадка углеводов [16, 17].

Для экстракции белка при помощи 0,1 N раствора HCl уровень pH среды доводили до значения 6,5, считающимся изоэлектрической точкой белка, при котором он выпадает в осадок.

С целью ускорения процесса осаждения белка и растворения оставшегося в сырье жира в раствор вносили органический растворитель (95 % этиловый спирт) в количестве 30 %. Раствор перемешивали на лабораторном шейкере при 100–150 об/мин в течение 60 мин и центрифугировали в течение 5 мин при 10 000 об/мин [17, 18]. Осадок (изолят) белка отделяли от надосадочной жидкости, высушивали при помощи сушильного шкафа при температуре 50–65 ºС в течение 40 мин., взвешивали при помощи лабораторных весов, промывали и разбавляли водой: установлена концентрация белка 1000 мкг/мл [16].

В полученный раствор изолята вносили протеолитический фермент микробного происхождения протеиназу P1 (лактосепин) в соотношении с субстратом 25:1, продуцентами являются молочнокислые бактерии *Lactococcuslactis*. Гидролиз производился в течение 60 мин при 30 ºС согласно методике ГОСТ 34430-2018 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Метод определения протеолитической активности» [16, 19]. Осаждение непрогидролизованного белка проводили с добавлением трихлоруксусной кислоты в количестве 2 мл, раствор выдерживали в течение 10 мин, осадок отделяли центрифугированием при 10 000 об/мин в течение 5 мин.

Количество гидролизованного белка определяли спектрофотометрически с использованием калибровочной кривой по методу Лоури. Интенсивность окраски (оптическую плотность) измеряли на спектрофотометре при длине волны 760 нм.

Методом insilico при помощи инструментов программы BIOPEP-UWM с базой данных белков и ферментов различного происхождения проведен анализ биоактивных свойств выделенных пептидов на основе аминокислотных паттернов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Масса высушенного изолята белка, полученного из жмыха семян подсолнечника, составила 32 % от массы сырья, что с учетом среднего содержания макронутриента в рассматриваемом сырьевом ресурсе (*19,9–44,9 %*) говорит о целесообразности использования метода кислотно-щелочной экстракции белка.

Значение оптической плотности раствора гидролизата белка составило 0,41, что по калибровочной кривой, представленной на рисунке 1, соответствует концентрации 240 мкг/мл.

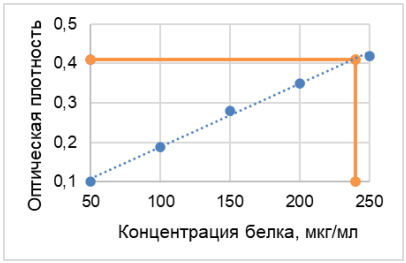


Рисунок 1 – Оптическая плотность раствора гидролизата белка

Figure 1 – Organoleptice valuation profile

Cutting sequence	C-terminus	N-terminus
Q	☑	☐
V	☑	☐
P	☐	☑
Q	☐	☑
P	☑	☐
S	☐	☑
L	☑	☐
L	☐	☑

Рисунок 2 – Последовательность распознавания для активной протеиназы P1

Figure 2 – Recognition sequence for active proteinase P1

Поскольку концентрация изолята белка в растворе с дистиллированной водой составляла 1000 мкг/мл, значение степени ферментативного гидролиза макронутриента равно 76 %.

На основании предиктивного анализа свойств выделяемых биоактивных пептидов с использованием программы BIOPEP-UWM выявлен механизм воздействия микробной протеиназы P1 (лактосепина) на структуру бел-

ка. Данные представлены на рисунке 2, в программе используется однобуквенное обозначение аминокислот (Q – глутамин, V – валин, P – пролин, S – серин, L – лейцин).

Микробные протеиназы наряду с протеазами животного происхождения используются для гидролиза пептидных связей при определении аминокислотной последовательности белков и полипептидных фрагментов [13].

Фермент воздействует на карбоксильную группу (С-конец) и аминогруппу (N-конец) аминокислот белка. На рисунке 3 представлен профиль биологической активности в гидролизате белка жмыха подсолнечника, знаком «–» обозначены места разрыва пептидной связи.

Аминокислотные паттерны образовавшихся пептидов определяют их биологические свойства. В таблице 2 представлена краткая характеристика биоактивных пептидов гидролизата белка (АПФ – ангиотензинпревращающий фермент, ДПП-3 и ДПП-4 – дипептидилпептидаза-3 и дипептидилпептидаза-4 соответственно).

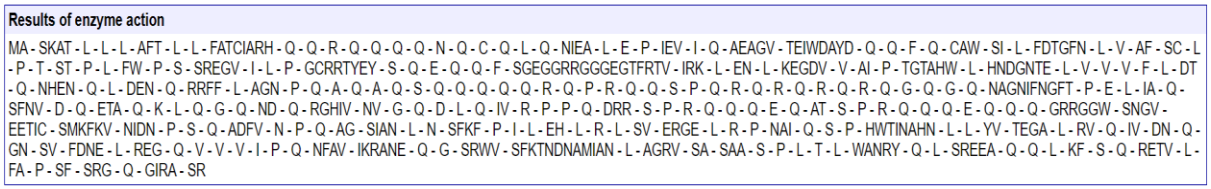


Рисунок 3 – Профиль биологической активности пептидов в гидролизатах белка подсолнечника

Figure 3 – Profile of biological activity of peptides in sunflower protein hysrolysates

Таблица 2 – Биоактивные свойства пептидов гидролизата белка жмыха семян подсолнечника
Table 2 – Bioactiveproperties of peptides of sunflowerseedcakeproteinhydrolysate

Биологическая активность	Аминокислотные паттерны пептидов	Физиологическая роль
Ингибитор АПФ	IA (изолейцин, аланин)	Расширение просвета сосудов, снижение артериального давления и нагрузки на сердце, улучшение кровообращения, нефропротективное действие
	AF (аланин, фенилаланин)	
	AG (аланин, глицин)	
	SF (серин, фенилаланин)	
	KF (лизин, фенилаланин)	
	AI (аланин, изолейцин)	
	FW (фенилаланин, триптофан)	
	YV (тирозин, валин)	
	ST (серин, треонин)	
Ингибитор ренина	KF (лизин, фенилаланин)	Кардио-, нефропротекторный и антигипертензивный эффект
	SF (серин, фенилаланин)	
Пептид, стимулирующий усвоение глюкозы	IV (изолейцин, валин)	Снижает концентрацию глюкозы в крови, регулирует метаболизм. Глюкоза преобразуется в гликоген и триглицериды в печени, жировой ткани и скелетных мышцах
Ингибитор ДПП-4	IA (изолейцин, аланин)	Инкретиновая активность, увеличение секреции инсулина, снижение выработки глюкагона
	MA (метионин, аланин)	
	FA (фенилаланин, аланин)	
	AF (аланин, фенилаланин)	
	AG (аланин, глицин)	
	AT (аланин, треонин)	
	DN (аспартат, аспарагин)	
	EH (глутамат, гистидин)	
	KF (лизин, фенилаланин)	
	ND (аспарагин, аспартат)	
	NV (аспарагин, валин)	
	SF (серин, фенилаланин)	
	SI (серин, изолейцин)	
	SV (серин, валин)	
	YV (тирозин, валин)	
Ингибитор ДПП-3	RV (аргинин, валин)	Ген ДПП-3 кодирует белок, повышенная активность которого приводит к раку эндометрии и яичников. ДПП-3 угнетает работу сердца
	FA (фенилаланин, аланин)	
Гипоурикемический пептид	FW (фенилаланин, триптофан)	Регулирует уровень мочевой кислоты в сыворотке крови, снижая риск возникновения острой почечной недостаточности
Ингибитор неприлизина	FW (фенилаланин, триптофан)	Ингибирует активность неприлизина, расщепляющий сигнальные пептиды, обеспечивающие транспорт белка
Регуляторный пептид	FW (фенилаланин, триптофан)	Класс физиологически активных веществ, участвующих в регуляции и реализации разнообразных функций организма

Таким образом, обосновано использование основного отхода обработки семян подсолнечника при получении растительного масла (жмыха) в качестве сырья для получения гидролизата белка. Из 1 кг семян образуется 60–70 % жмыха, методом кислотно-щелочной экстракции из него возможно выделить 32 % белка от общей массы отхода; количество гидролизованного белка составляет 76 % от массы макронутриента.

На основании вышеизложенного сделан вывод, что из 1 кг семян в среднем можно получить около 158,08 г гидролизата белка с повышенной усвояемостью и биологической ценностью. Поскольку метионин является лимитирующей аминокислотой, для восполнения ее недостатка в питании рекомендуется сочетать употребление полученного продукта с прочими видами растительного или животного белка.

При применении микробного фермента протеиназы Р1, продуцентом которого являются молочнокислые бактерии *Lactococcuslactis*, выделенные из изолята биоактивные пептиды обладают следующими свойствами: ингибируют АПФ, ренин, ДПП-3, ДПП-4 и неприлизин; стимулируют усвоение глюкозы, обладают гипоурикемическим эффектом, выполняют регулирующую функцию.

В целом, развитие представленного направления научных исследований обладает большим потенциалом и направлено на решение двух актуальных проблем: обращение с отходами масложировой промышленности и восполнение дефицита белка в питании путем получения макронутриента в легкоусвояемой форме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование метода кислотно-щелочной экстракции белка из жмыха семян подсолнечника, образующегося при производстве растительного масла и последующий ферментативный гидролиз изолята с применением протеиназы Р1 позволяет получить высокий выход макронутриента с высокой степенью усвояемости и повышенной биологической ценностью. Подобранная технология обладает следующими особенностями:

- использование недорогостоящих альтернативных источников белка как перспективный способ обращения с растительными отходами;
- минимальное количество применяемого лабораторного оборудования;
- позволяет восполнить дефицит макронутриента в питании при сочетании с прочими видами белка с достаточным количеством аминокислоты метионина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлева А.А. Перспективы использования семян конопли и льна в качестве источника пищевого белка // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2024. Т. 4, № 2(12). С. 3–9. DOI: 10.54016/SVITOK.2024.29.57.001.

2. Рождественская Л.Н., Бычкова Е.С., Бычков А.Л. Анализ вызовов и современных тенденций развития технологий на рынке белков // Пищевая промышленность. 2018. № 5. С. 42–47.

3. Дериглазова Г.М. Современные тенденции возделывания сои в России // АгроЗооТехника. 2022. Т. 5, № (3), статья 1. https://doi.org/10.15838/alt.2022.5.3.1.

4. Лаптиева А.Р., Ольховая Е.Д., Лидохова О.В. Вегетарианство и веганство: исследование сбалансированности и влияния диет на организм // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 115–10. С. 63–66. DOI: 10.18411/trnio-11-2024-449.

5. Baykova O.V. (2024). Food waste and its valorization intovalue added products (case study of the international experience of Asian countries). *The oretical and Applied Ecology*, (4), 225–234. (In Russ.). DOI: 10.25750/1995-4301-2024-4-225-234.

6. Брашко И.С., Позняковский В.М., Донскова Л.А. Характеристика ферментных препаратов и разработка нового технического решения для биоконверсии коллагенсодержащего сырья // Индустрия питания. 2024. Т. 9, № 1. С. 50–59. DOI: 10.29141/2500-1922-2024-9-1-6.

7. Белковый потенциал семян подсолнечника. Исследования процессов получения пищевых белков из подсолнечного шрота / М.Л. Доморощенкова [и др.] // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2020. № 1–2. С. 24–29.

8. Морозова И.М., Мазурова Н.Н., Морозов И.М. Биохимический состав семян масличных культур, используемых при производстве кормовой продукции // Веснік Віцебскага дзяржаўнага універсітэта. 2022. № 1(114). С. 48–53.

9. Получение растительного белка из семян и жмыха промышленной конопли: обзор способов переработки для использования в пищевой промышленности / Д.И. Алексаночкин [и др.] // Пищевые системы. 2024. Т. 7, № 2. С. 188–197. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-2-188-197.

10. Герасимов А.Б. Проблема дефицита полноценного белка в питании современного человека: пути решения // Стихия Земля : сборник научных трудов Межрегиональной научно-практической конференции. Санкт-Петербург : ООО "Издательский Дом СТЕЛЛА", 2024. С. 107–112.

11. Белковый гидролизат как источник биоактивных пептидов в пищевой продукции диабетического питания / О.В. Зинина [и др.] // Пищевые системы. 2023. Т. 6, № 4. С. 440–448. DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-4-440-448.

12. Бикбулатов П.С., Арисов А.В., Чугунова О.В. Ферментные препараты и биокаталитические процессы в пищевой промышленности // Вестник биотехнологии. 2023. № 4(37).

13. Козлова О.В. Биологически активные пептиды из белков молока / О.В. Козлова, И.С. Разумникова, А.Ю. Просеков // Молочная промышленность. 2010. № 9. С. 68–69.

14. Короткие пептиды как компоненты питания: молекулярные основы регуляции гомеостаза / В.А. Тутельян, В.Х. Хавинсон, Г.А. Рыжак, Н.С. Линькова // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134. № 3. С. 227–235.

15. О кинетике экстракции из растительного сырья и оптимальном времени экстракции / А.М. Кармишин [и др.] // Химия и технология органических веществ. 2023. № 3(27). С. 36–53.

16. Апьянцева Ю.В., Борисова И.И., Бараненко Д.А. Обзор технологий выделения белка из нута // Ползуновский вестник. 2024. № 2. С. 27–36. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.004.

17. Nguyen H.L. (2021). Researchon the extraction of polysaccharides from Ganodermalucidum. *Science, Education and Innovations in the context of modern problems*, (2), 226–235. (In Russ.). DOI: 10.5281/zenodo.6299094.

18. Эффективный способ определения содержания кислот в составе растительных масел / Д.Э. Ибрагимов, Х.Ш. Гулахмадов, Т.М. Махмудова, И. Ибрагимов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2020. № 3. С. 221–229. (In Russ.).

19. Мезенова О.Я. Перспективы получения и использования протеинов из вторичного рыбного сырья // Вестник Международной академии холода. 2018. № 1. С. 5–10. DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-1-5-10.

20. Коновалова А.А. Оценка аминокислотного состава гидролизата соевого белка / А.А. Коновалова, Е.Г. Ковалева, Н.В. Баракова // Всероссийская конференция молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы нутрициологии, биотехнологии и безопасности пищи». Москва, 2017. С. 170–173. 58.

Информация об авторах

О. В. Чугунова – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология пи-

тания» Уральского государственного экономического университета.

Д. И. Девяткин – аспирант кафедры «Технология питания» Уральского государственного экономического университета.

П. С. Бикбулатов – аспирант кафедры «Технология питания» Уральского государственного экономического университета.

Н. В. Заворохина – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология питания» Уральского государственного экономического университета.

REFERENCES

1. Yakovleva, A.A. (2024). Prospects of usinghempandflaxseedsas a source of dietaryprotein. *Industrialcrops. Scientific Agricultural Journal*, (12), 3-9. (In Russ.). DOI: 10.54016/SVITOK.2024.29.57.001.

2. Rozhdestvenskaya, L.N., Bychkova, E.S & Bychkov, A.L. (2018). Analysis of challenges and current trends in the development of technologies in the protein market. *Food Industry*, (5), 42–47. (In Russ.).

3. Deriglazova, G.M. (2022). Current trends in soybean cultivation in Russia. *Agricultural and Livestock Technology*, (3), Article 1. (In Russ.). https://doi.org/10.15838/alt.2022.5.3.1.

4. Laptieva, A.R., Olkhovaya, E.D. & Lidokhova, O.V. (2024). Vegetarianism and veganism: a study of the balanceand in fluence of dietson the body. *Trends in the development of science and education*, (115-10), 63-66. (In Russ.). DOI10.18411/trnio-11-2024-449

5. Baykova, O.V. (2024). Foodwasteanditsvalorizationintovalue-addedproducts (casestudy of the international experience of Asian countries). *The oretical and Applied Ecology*, (4), 225-234. (In Russ.). DOI: 10.25750/1995-4301-2024-4-225-234.

6. Brashko, I.S., Poznyakovsky, V.M. & Donskova, L.A. (2024). Characterization of enzyme preparations and development of a newtechnical solution for the bioconversion of collagen-containing raw materials. *Nutrition Industry*, (1),50–59. (In Russ.). DOI:10.29141/2500-1922-2024-9-1-6.

7. Domoroshchenkova, M.L., Demyanenko, T.F., Krilova, I.V. & Kamisheva, I.M. (2020). Protein opportunities of sunflower seeds. research of processes of food protein production from sunflower oil meal. *Vestnik of the All-Russian Scientific Research Institute of Fats*, (1-2), 24-29. (In Russ.).

8. Morozova, I.M., Mazurova, N.N. & Morozov, I.M. (2022). Biochemical composition of oilseedsusedin the production of feedproducts. *Vesnik Visebskaga dzyarzhaynaga university*, (1(114)), 48-53. (In Russ.).

9. Aleksanochkin, D.I., Fomenko, I.A., Alexeyeva, E.A., Chernukha, I.M. & Mashentseva, N.G. (2024). Production of vegetable protein from seeds and commercial hemp cake: a review of processing methods for usein the food industry. *Food systems*, (2), 188-197. (In Russ.). DOI: 10.1323/2618-9771-2024-7-2-188-197.

10. Gerasimov, A.B. The problem of high-grade protein deficiency in modern human nutrition: solutions. *Element Earth: Collection of scientific papers of the Interregional Scientific and Practical Conference*. St. Petersburg: STELLA Publishing House, LLC, 2024.107-112. (In Russ.).

11. Zinina, O.V., Nikolina, A.D., Khvostov, D.V., Rebezov, M.B., Zavyalov, S.N. & Akhmetzyanov, R.V. (2023). Protein hydrolysateas a source of bioactive peptides indiabetic nutrition products. *Food Systems*, (4), 440-448. (In Russ.). DOI: 10.1323/2618-9771-2023-6-440-448.

12. Bikbulatov, P.S., Arisov, A.V. & Chugunova, O.V. (2023). Enzyme preparations and biocatalytic processes in the foodindustry. *Bulletin of Biotechnology*,(4(37)). (In Russ.).

13. Kozlova, O.V. Razumnikova, I.S., Prosekov, A.Yu. Biologically active peptides from milk proteins. Dairyindustry. *Molochnaya promyshlennost'*, (9), 68-69. (In Russ.).

14. Tutelyan, V.A., Khavinson, V.H., Ryzhak, G.A., Linkova, N.S. (2014). Shortpeptidesas components of nutrition: the molecular foundations of homeostasis regulation. Successes of modern biology. *Uspekhi sovremennoj biologii,* 3 (134), 227-235. (In Russ.).

15. On the kinetics of extraction from plantraw materials andoptimal extraction time / A.M. Karmishin [et al.]. *Chemistry and technology of organic substances*, 2023.3(27), 36-53. (In Russ.).

16. Apyantseva, Yu.V., Borisova, I.I. & Baranenko, D.A. (2024). Review of protein extraction technologies from chickpeas. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 27-36. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.004.

17. Nguyen, H.L. (2021). Researchon the extraction of polysaccharides from Ganodermalucidum. *Science, Education and Innovations in the context of modern problems*, (2), 226-235. (In Russ.). DOI: 10.5281/zenodo.6299094.

18. Ibragimov, D.E., Gulakhmadov, H.S., Makhmudova, T.M., Ibrahimov, I. (2020). An effective method for determining the acidcontent in vegetable oils. Bulletin of the Tajik National University. Series of Natural Sciences. *Vestnik Tadzhikskogo nacional`nogo universiteta. Seriya estestvenny`x nauk*, (3), 221-229. (In Russ.).

19. Mezenova, O.Ya. (2018). Prospects of obtaining and using proteins from secondary fish raw materials. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*, (1), 5-10. (In Russ.). DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-1-5-10.

20. Konovalova, A.A., Kovaleva, E.G., Barakova, N.V. (2017). Assessment of the amino acid composition of soyprotein hydrolysate. All-Russian Conference of young scient ist swith international participation "Topicalissues of nutrition, biotechnology and foodsafety". *Aktual'nye voprosy nutriciologii, biotekhnologii i bezopasnosti pishchi*, 170-173. (In Russ.).

Information about the authors

O.V. Chugunova - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Nutrition Technology at the Ural State University of Economics.

D.I. Devyatkin - postgraduate student at the Department of Nutrition Technology at the Ural State University of Economics.

P.S. Bikbulatovis - a postgraduate student at the Department of Nutrition Technology of the Ural State University of Economics.

N.V. Zavorokhinais - a Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Nutrition Technology of the Ural State University of Economics.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 158–161.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 158–161.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.959.5:597.555.51
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.024 EDN: XUJHWY

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЫБНОГО БЕЛКОВОГО ГИДРОЛИЗАТА В СОСТАВЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЭНТЕРОБАКТЕРИЙ

Юлия Вячеславовна Живлянцева [1], Людмила Казимировна Куранова [2], Михаил Александрович Ершов [3]

[1, 2] Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический университет», Мурманск, Россия
[1] youliapetrakova@mail.ru,ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4957-297X
[2] kuranoval@rambler.ru, ORCID:https://orcid.org/0000-0001-6899-6076
[3] maershov@mail.ru, ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5072-2322

Аннотация. *В составе питательных сред для культивирования микроорганизмов необходимо использовать белковые вещества. В качестве источников белка предложено использовать белковый гидролизат, полученный методом гидролиза с ферментным препаратом протосубтилин Г3х отходов от переработки рыбы. Целью исследований являлось изучение показателей качества питательных сред, приготовленных с использованием данного гидролизата. Установлено, что повышенное содержание аминного азота не влияет на рост микроорганизмов. Исследованные питательные среды не уступают по качеству коммерческим питательным средам, используемым для выращивания энтеробактерий: рост целевых микроорганизмов и отсутствие роста нецелевого микроорганизма подтверждены экспериментально. Экспериментально подтверждено, что белковый гидролизат из рыбных отходов, полученный с использованием фермента протосубтилина Г3х, может быть использован в составе микробиологических питательных сред.*

Ключевые слова: *белковый рыбный гидролизат, протосубтилин Г3х, питательные среды, показатели качества, аминный азот, энтеробактерии, целевые и нецелевые микроорганизмы*

Благодарности: *Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по гранту Российского научного фонда № 24-26-20058, https://rscf.ru/project/24-26-20058/, а также при реализации Соглашения № 199 от 03.05.2024 г. между Минобрнауки Мурманской области и ФГАОУ ВО «МАУ».*

Для цитирования: Живлянцева Ю. В., Куранова Л. К., Ершов М. А. Использование рыбного белкового гидролизата в составе питательных сред для выделения энтеробактерий // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 158–161. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.024. EDN: https://elibrary.ru/XUJHWY.

USE OF PROTEIN HYDROLYSATE FROM FISH WASTE AS PART OF MICROBIOLOGICAL CULTURE MEDIA FOR TO ISOLATE ENTEROBACTERIA

Iuliia V. Zhivlyantseva [1], Lyudmila K. Kuranova [2], Mikhail A. Ershov [3]

[1, 2] Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Murmansk Arctic University”, Murmansk, Russia
[1] youliapetrakova@mail.ru,ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4957-297X
[2] kuranoval@rambler.ru, ORCID:https://orcid.org/0000-0001-6899-6076
[3] maershov@mail.ru, ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5072-2322

Abstract. *Protein substances must be used in the composition of microbiological culture for the cultivation of microorganisms. It is proposed to use protein hydrolysate obtained by hydrolysis with the enzyme preparation protosubtilin G3x from fish processing as protein sources. The purpose of the research was to study the quality indicators of microbiological culture media prepared using this hydrolysate. It has been established that the increased content of amine nitrogen does not affect the growth of microorganisms. The studied microbiological culture media are not inferior in quality to commercial microbiological culture media used for growing enterobacteria: the growth of target microorganisms and the absence of growth of a non-target microorganism have been confirmed experimentally. It has been experimentally confirmed that protein hydrolysate from fish waste obtained using the enzyme protosubtilin G3x can be used as part of microbiologically resistant microbiological culture media.*

Keywords: *protein fish hydrolysate, microbiological culture media, protosubtilin G3x, quality indicators, amine nitrogen, enterobacteria, target and non-target microorganisms.*

© Живлянцева Ю. В., Куранова Л. К., Ершов М. А., 2026

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЫБНОГО БЕЛКОВОГО ГИДРОЛИЗАТА В СОСТАВЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЭНТЕРОБАКТЕРИЙ

Acknow ledgements: *The article was prepared as part of research under the grant of the Russian Science Foundation No. 24-26-20058, https://rscf.ru/project/24-26-20058 /, as well as during the implementation of Agreement No. 199 dated 05/03/2024 between the Ministry of Education and Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Murmansk Arctic University".*

For citation: Zhivlyantseva I. V., Kuranova L. K. & Ershov M. A. (2026). Use of protein hydrolysate from fish waste as part of microbiological culture media for to isolate enterobacteria. *Polzunovskiy vestnik,* (1), 158-161. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.024. EDN: https: //elibrary.ru/XUJHWY.

ВЕДЕНИЕ

Белковые гидролизаты, полученные в процессе ферментативного гидролиза, являются источниками азотистых соединений. Гидролизаты содержат 10–15 % общего азота (в пересчете на сухое вещество), в том числе и 3,0–6,0 % аминного азота [1]. Это позволяет использовать их в качестве компонента питательных сред, широко используемых при проведении микробиологических исследований, в том числе при установлении срока годности новых видов пищевой рыбной продукции. Для приготовления питательных сред был использован рыбный белковый гидролизат, полученный в процессе ферментативного гидролиза рыбных отходов с использованием фермента протосубтилина Г3х [2].

Энтеробактерии – большое семейство грамотрицательных бактерий. Наиболее яркие представители этого семейства сальмонелла, кишечная палочка, клебсиелла и шигелла. Для выделения данных микроорганизмов используют дифференциально-диагностические среды, такие как Гисса с сахарами, среда Кода для дифференциации энтеробактерий, среда Кесслера для E.coli.

Целью исследований являлось изучение показателей качества данных питательных сред.

МЕТОДЫ

Исследования проводились путём сравнительного анализа показателей качества широко используемых коммерческих сред и альтернативных (далее «экспериментальных») сред, приготовленных с использованием рыбного белкового гидролизата, полученного из отходов переработки рыбы путём гидролиза ферментным препаратом протосубтилин Г3х («Сиббиофарм», Россия), изготовленного по ТУ 9291-029-13684916-2010.

В работе применялись стандартные химические, биохимические, микробиологические методы исследований. Массовую долю аминного азота, активную кислотность (pH) определяли по ГОСТ 7636-85 [3]. Органолептические показатели, такие как внешний вид, прозрачность, цветность оценивали визуально с учётом рекомендаций ГОСТ ISO 11133-2016 [4]. Контроль качества питательных сред определяли по МУК 4.2.2316-08 [5]. Суспензии тест-культур готовили с использованием стандарта мутности бактерийных взвесей (ООО «ОРМЕТ», Россия), с последующим приготовлением десятикратных разведений согласно ГОСТ ISO 11133-2016 [4]. В качестве разбавителя использовали стерильный физиологический раствор. Для проведения контроля качества питательных сред использовали тест-микроорганизмы, полученные из специализированных коллекций: Escherichiacoli ATCC 25922 DSM 1103, Staphylococcusaureus ATCC 25923.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе рецептур питательных сред, в состав которых входит лактоза (среда Кесслера, среда Кода, среда Гисса с лактозой), были приготовлены коммерческие и экспериментальные питательные среды, где пептон ферментативный и гидролизат рыбного белка были заменены на рыбный белковый гидролизат, полученный с использованием фермента протосубтилина Г3х. Контроль ростовых свойств данных питательных сред проверяли с использованием тест-штаммов микроорганизмов, полученных из официальной коллекции «ГКПМ–Оболенск». В качестве целевого штамма использовали Escherichiacoli ATCC 25922 DSM 1103, в качестве нецелевого штамма Staphylococcusaureus ATCC 25923. Посевы инкубировали при температуре 37±1 ºС в течение определенного времени для каждого вида микроорганизма согласно паспорту на питательные среды.

Рецептура питательной среды Кесслера представлена в таблице 1.

Приготовленные питательные среды были хорошо растворимы в воде, после приготовления растворы сред были прозрачными, жидкими, с опущенными «поплавками», характерного фиолетового оттенка. pH питательных сред – 7,6. Разведения (концентрация микроорганизмов) приготовлены согласно паспорту на питательные среды (10^{-6}), (10^{-1}) в соответствии с выбранным микроорганизмом. Содержание аминного азота в коммерческой питательной среде составило 3,0 %, в экспериментальной – 3,6 %.

Таблица 1 – Рецептура питательной среды Кесслера

Table 1 – Formulation of Kessler culture medium

Наименование	Содержание г (мл)/1 л дистиллированной воды	
	Коммерческая среда	Экспериментальная среда
Пептон ферментативный	4	0
Гидролизат рыбного белка	4	0
БРГ	–	8
Лактоза	8	8
Желчь, сухая	4	4
Генциан виолет	0,024	0,024

В процессе исследования установлено, что в коммерческой и экспериментальной питательной среде наблюдается диффузное помутнение питательной среды с газообразованием в «поплавке» при использовании целевого тест-штамма микроорганизма (таблица 2). Рост нецелевого тест-штамма микроорганизма ингибируется на обеих средах, следовательно, экспериментальная питательная среда Кесслера отвечает заявленным требованиям.

Рецептура питательной среды Кода представлена в таблице 3. Обе приготовленные питательные среды хорошо растворимы в воде, жидкие, прозрачные, характерного сине-зеленого оттенка.

Результаты исследования среды Кода представлены в таблице 4.

Таблица 2 – Результаты исследования среды Кесслера
Table 2 – Results of the study of Kessler culture medium

Наименование тест-штамма микроорганизма	Escherichiacoli ATCC 25922 DSM 1103		Staphylococcusaureus ATCC 25923	
	Коммерческая среда	Экспериментальная среда	Коммерческая среда	Экспериментальная среда
Ростовые свойства (разведение)	10^{-6}		10^{-1}	
Специфическая активность	Чувствительность среды и стабильность основных биологических свойств микроорганизмов		Ингибирующие свойства	
Результаты роста	Помутнение среды, газообразование в «поплавке»	Помутнение среды, газообразование в «поплавке»	Среда остается прозрачной	Среда остается прозрачной

Таблица 3 – Рецептура питательной среды Кода
Table 3 – Formulation of Koda culture medium

Наименование	Содержание г (мл)/1 л дистиллированной воды	
	Коммерческая среда	Экспериментальная среда
Пептон ферментативный	3	0
Гидролизат рыбного белка	10	0
БРГ	–	13
Лактоза	10	10
Натрия хлорид	6,6	6,6
Сульфанол	2,2	2,2
Бромтимоловый синий	0,05	0,05
Натрий углекислый	0,15	0,15

Таблица 4 – Результаты исследования среды Кода
Table 4 – Results of the study of Koda culture medium

Наименование тест-штамма микроорганизма	Escherichiacoli ATCC 25922 DSM 1103		Staphylococcusaureus ATCC 25923	
	Коммерческая среда	Экспериментальная среда	Коммерческая среда	Экспериментальная среда
Ростовые свойства (разведение)	10^{-6}		10^{-1}	
Специфическая активность	Чувствительность среды и стабильность основных биологических свойств микроорганизмов		Ингибирующие свойства	
Результаты роста	Помутнение среды с изменением цвета на желтый	Помутнение среды с изменением цвета на желтый	Среда остается прозрачной, без изменения цвета	Среда остается прозрачной, без изменения цвета

В коммерческой и экспериментальной питательной среде наблюдается помутнение питательной среды с изменением цвета питательной среды с сине-зеленого цвета на жёлтый при использовании целевого тест-штамма микроорганизма. При использовании нецелевого тест-штамма микроорганизма среда остается прозрачной, без изменения цвета в обоих случаях. pH питательных сред составляет 7,3. Содержание аминного азота в коммерческой питательной среде составило 1,7 %, в экспериментальной – 3,6 %. Повышенное содержание аминного азота не препятствует росту энтеробактерий.

Экспериментальная питательная среда Кода соответствует заявленным требованиям.

Рецептура питательной среды Гисса с лактозой представлена в таблице 5.

Результаты исследования среды Гисса с лактозой представлены в таблице 6.

Таблица 5 – Рецептура питательной среды Гисса с лактозой

Table 5 – Formulation of Giss lactose culture medium

Наименование	Содержание г (мл)/1 л дистиллированной воды	
	Коммерческий среда	Экспериментальная среда
Панкреатический гидролизат рыбной муки	6	0
Белковый рыбный гидролизат	–	6
Лактоза	3,5	3,5
Натрия хлорид	3,5	3,5
Агар микробиологический	3,5	3,5
Натрий фосфат двузамещенный	0,2	0,2
Бромтимоловый синий	0,04	0,04

Таблица 6 – Результаты исследования среды Гисса с лактозой
Table 6 – Results of the study of Giss lactose culture medium

Наименование тест-штамма микроорганизма	Escherichiacoli ATCC 25922 DSM 1103		Staphylococcusaureus ATCC 25923	
	Коммерческий среда	Экспериментальная среда	Коммерческий среда	Экспериментальная среда
Ростовые свойства (разведение)	1 бак. петля на 10 ед.		1 бак. петля на 10 ед.	
Специфическая активность	Чувствительность среды и стабильность основных биологических свойств микроорганизмов		Ингибирующие свойства	
Результаты роста	изменение цвета среды на желтый	изменение цвета среды на желтый	Среда остается, без изменения цвета	Среда остается без изменения цвета

В коммерческой и экспериментальной питательных средах наблюдается изменение цвета с фиолетового на жёлтый при использовании целевого тест-штамма микроорганизма. При использовании нецелевого тест-штамма микроорганизма среда остаётся без изменения цвета в обоих случаях. pH питательных сред составляет 7,3. Содержание аминного азота в коммерческой питательной среде составило 1,5 %, в экспериментальной – 3,6 %. Повышенное содержание аминного азота в экспериментальной среде не препятствует росту энтеробактерий.

Экспериментальная питательная среда Гисса с лактозой удовлетворяет требованиям согласно паспорту на питательную среду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы показатели качества питательных сред, используемых для выделения энтеробактерий. Экспериментально установлено, что использование рыбного белкового гидролизата в рецептурах сред Кесслера, Кода и Гисса с лактозой не изменяет физические показатели питательных сред (растворимость, прозрачность, цветовые характеристики), активную кислотность, рост целевого штамма Escherichiacoli ATCC 25922 DSM 1103, отсутствие роста нецелевого микроорганизма Staphylococcusaureus ATCC 25923. Доказана идентичность экспериментальных питательных сред и коммерческих питательных сред. Повышенное содержание аминного азота в питательных средах, приготовленных с использованием белкового рыбного гидролизата, не оказывает влияния на рост микроорганизмов. Рыбный белковый гидролизат, полученный с использованием фермента протосубтилина ГЗх, может быть использован в составе питательных сред, применяемых для выделения энтеробактерий, в том числе, в ходе микробиологических исследований по установлению срока годности новых видов пищевой рыбной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлова Т.А. Технологии получения продуктов и биологически активных веществ из морских гидробионтов / Т.А. Орлова, В.С. Зензеров. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2004. 277 с.

2. Пептон из вторичных продуктов переработки атлантической трески: технология, качество, использование / Ю.В. Живлянцева, Л.К. Куранова, В.И. Волченко, В.А. Гроховский // Вестник Камчатского государственного технического университета. Петропавловск-Камчатский, 2018. № 45. С. 28–36.

3. ГОСТ 7636–85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа: межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Гос. комитета СССР по стандартам от 27 марта 1985 г. № 898 : взамен ГОСТ 7636-55, ГОСТ 13893-68, ГОСТ 17258-71, ГОСТ 17259-71, ГОСТ 18657-73 : дата введения 1986-01-01. Москва : Стандартинформ, 2010. 88 с.

4. ГОСТ ISO 11133-2016. Микробиология пищевых продуктов, кормов для животных и воды. Приготовление, производство, хранение и определение рабочих характеристик питательных сред : межгосударственный стандарт : издание официальное : взамен ГОСТ ISO/TS 11133-1-2014, ГОСТ ISO 11133-2-2011. Дата введения 2017.07.01. ; разработан ОАО «ВНИИС». Москва : Стандартинформ, 2016. 95 с.

5. МУК 4.2.2316-08. Методы контроля бактериологических питательных сред : методические указания : утв. Гл. гос. санит. врачом Рос. Федерации 18 января 2008 г. Москва : Федер. центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2008. 67 с.

Информация об авторах

Ю. В. Живлянцева – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный центр безопасности продукции водного промысла и аквакультуры» (ФГБУ «НЦБРП»), начальник отдела микробиологических исследований.

Л. К. Куранова – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический университет», заведующая научно-исследовательской лабораторией кафедры технологий пищевых производств; канд. техн. наук.

М. А. Ершов – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический университет», старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории кафедры технологий пищевых производств; канд. техн. наук.

Information about the authors

Iu.V. Zhivliantceva - Federal State Budgetary Institution "National Center for the Safety of Aquatic Products and Aquaculture" (FSBI "NCBRP"), Head of the Microbiological Research Department.

L.K. Kuranova - Federal state budgetary educational institution of higher education «Murmansk Arctic University», Head of the Research Laboratory of Department Technology of Food Production, Cand. of Tech. Sci.

M.A. Ershov - Federal state budgetary educational institution of higher education «Murmansk Arctic University», Senior Researcher of the Research Laboratory of Department Technology of Food Production, Cand. of Tech. Sci.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 162–166.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 162–166.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.031.2/.4
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.025 EDN: VKRMYI

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ ЭКСТРАКЦИИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ИЗ ЛЕОНАРДИТА ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ СБИТНЕЙ

Ирина Владимировна Бондарь [1], Надежда Александровна Величко [2], Оксана Валериевна Стутко [3]

[1, 2, 3] Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия,
[1] i.v.bond@mail.ru
[2] vena@kgau.ru, https://orcid.org/0000-0003-4743-5573
[3] stutko_ov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7500-2866

Аннотация: *Приведены результаты по установлению рациональных технологических параметров извлечения гуминовых кислот из леонардита месторождения, расположенного в Канско-Ачинском бассейне ООО «Разрез «Степановский» с целью дальнейшего их применения в пищевых целях – рецептурах безалкогольных напитков. В результате проведенного исследования разработаны технологические параметры выделения гуминовых кислот из леонардита. Установлено, что применение пищевой соды в качестве экстрагента, хотя и уменьшает выход гуминовых веществ в среднем на 5 % по сравнению со щелочью, вполне обосновано, если в дальнейшем гуминовые экстракты будут использованы для пищевых целей. Рациональным гидромодулем для извлечения гуминовых кислот является гидромодуль 1:50, рациональной температурой – 100 ºС. При увеличении продолжительности процесса экстракции до 3,5 часов наблюдается незначительное увеличение выхода гуминовых кислот, однако экстракция в течение 2-х часов также может быть рекомендована как экономически наиболее рациональная. В связи с тем, что объем производства напитков, содержащих вещества функционального значения, в России очень ограничен, то разработка рецептур и технологии производства концентрата напитка на основе мёда, обогащенного природными биологически активными веществами ингредиентов, обеспечивающих высокую пищевую ценность и потребительские свойства напитка, является актуальной. В связи с этим была разработана рецептура концентрата напитка на основе меда с добавлением гуминовых кислот, определена их рациональная дозировка, обеспечивающая наилучшие показатели качества продукта. Полученный концентрат напитка по физико-химическим и микробиологическим показателям соответствует нормативным значениям.*

Ключевые слова: *гуминовые кислоты, гидромодуль, леонардит, экстракция, сода пищевая, рецептура напитка, показатели качества, концентрат.*

Для цитирования: Бондарь И. В., Величко Н. А., Стутко О. В. Разработка параметров экстракции гуминовых кислот из леонардита для их использования в составе сбитней // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 162–166. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.025. EDN: https://elibrary.ru/VKRMYI.

Original article

DEVELOPMENT OF PARAMETERS FOR EXTRACTION OF HUMIC ACIDS FROM LEONARDITE FOR THEIR USE IN COMPOSITION OF SBITNEY

Irina V. Bondar [1], Nadezhda A. Velichko [2], Oksana V. Stutko [3]

[1, 2, 3] Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
[1] i.v.bond@mail.ru
[2] vena@kgau.ru, https://orcid.org/0000-0003-4743-5573
[3] stutko_ov@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-7500-2866

Abstract. *The results of establishing rational technological parameters for extracting humic acids from the Leonardite deposit located in the Kansk-Achinsk basin of the Stepanovsky Mine LLC for further use in food applications - recipes for soft drinks. As a result of the conducted research, technological parameters for the isolation of humic acids from leonardite have been developed. It has been established that the use of baking soda as an extractant, although it reduces the yield of humic substances by an average of 5% compared to alkali, is justified if the humic extracts are subsequently used for food purposes. The optimal hydro-modulus for extracting humic acids is 1:50, and the optimal temperature is 100°C. When the extraction process is extended to 3.5 hours, there is a slight increase in the yield of humic*

© Бондарь И. В., Величко Н. А., Стутко О. В., 2026

acids, but extraction for 2 hours can also be recommended as the most cost-effective method. Due to the fact that the volume of production of beverages containing substances of functional value in Russia is very limited, the development of recipes and technology for the production of a beverage concentrate based on honey enriched with natural biologically active substances of ingredients that ensure high nutritional value and consumer properties of the beverage is relevant. In this regard, a recipe for a beverage concentrate based on honey with the addition of humic acids was developed, and their rational dosage was determined to ensure the best quality indicators of the product. The resulting beverage concentrate meets the regulatory requirements in terms of physical, chemical, and microbiological indicators.

Keywords: *humic acids, hydro-modulus, leonardite, extraction, soda, beverage formulation, quality indicators, concentrate.*

For citation: Bondar', I. V., Velichko, N. A. & Stutko, O. V. (2026). Development of parameters for extraction of humic acids from leonardite for their use in composition of sbitney. *Polzunovskiy vestnik,* (1), 162-166. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.025. EDN: https: //elibrary.ru/VKRMYI.

ВВЕДЕНИЕ

Гуминовые вещества – это вещества почвенного происхождения, которые образуют один из обширных резервуаров органического углерода в природе. Гуминовые вещества в основном образуются в результате физического, химического и микробиологического разложения и трансформации тканей растений и животных (процесс гумификации) на протяжении миллионов лет. Они составляют основную часть органического вещества почвы – гумуса, торфа, лигнитов, а также бурого угля и обладают гормоноподобным воздействием на рост растений [1-8].

Одним из направлений использования гуминовых веществ является применение в виде биологически активных добавок, обладающие полифункциональной активностью (антиоксидантными, иммуномодулирующими и общеукрепляющими свойствами)– создание на их основе экологически чистых натуральных кормовых, косметических, лечебных, препаратов, пищевых добавок для человека [9]. В настоящее время известны напитки с гуминовыми веществами. Однако они не получили широкого распространения из-за специфических органолептических свойств, так как изначально гуминовые вещества добываются из торфа и условия их извлечения не позволяют улучшить качественные характеристики.

Самыми распространенными экстрагентами для извлечения гуминовых веществ являются щелочные растворы различных концентраций. Используются растворы KOH, NaOH, NH_4OH, $NaHCO_3$и др. При этом, при обработке растворами щелочей извлекаются и гуминовые и фульвовые кислоты. Для дальнейшего разделения фракций на гуминовые и фульвовые кислоты полученный щелочной экстракт с pH от 9 до 13 подкисляют растворами кислот до pH 1-2, в результате чего гуминовые кислоты выпадают в осадок, а в растворе остаются фульвовые кислоты.

Для создания пищевых продуктов с добавлением гуминовых кислот необходима разработка режимов экстракции с применением безопасных экстрагентов.

Благодаря своим многочисленным преимуществам гуминовые кислоты в последнее время приобрели популярность на рынке «натуральных» продуктов питания. Потенциально они могут быть использованы в качестве новых пищевых добавок.

Некоторые из них уже доступны в виде готовых к употреблению напитков и безрецептурных таблеток, но этот рынок все еще нуждается в детальном изучении с точки зрения комбинаций и разнообразия. Известен «Безалкогольный напиток для внутренней очистки и способ его производства» JP 5224436 [10], заключающийся в смешении одной из фульвокислот или гуминовых кислот с твердым природным цеолитом, с природной минеральной активной водой, которую можно использовать в качестве питьевой.

Авторы [11] в состав жидкого концентрата безалкогольного напитка на основе слоевищ лишайника цетрарии исландской добавляют комплекс гуминовых и фульвовых кислот, воду подготовленную, обогащенную минералом цеолит, траву горца птичьего, траву чабреца и консервант.

Целью работы являлось определение технологических параметров получения водорастворимых солей гуматов из леонардита и разработка рецептуры концентрата сбитня с добавлением гуминовых кислот.

МЕТОДЫ

В качестве исходного сырья для извлечения гуминовых кислот использовали леонардит месторождения, расположенного в Канско-Ачинском бассейне ООО «Разрез «Степановский».

Для получения гуминовых препаратов, пригодных для производства пищевых продуктов, в качестве экстрагента был выбран 1 % раствор соды пищевой ($NaHCO_3$) – как доступное и безопасное сырье.

В качестве образца сравнения использовали 1 % раствор NaOH.

Для осаждения гуминовых кислот из растворов была использована лимонная кислот в концентрациях 1, 5 и 10 %.

Однако ее добавление снижало pH раствора до 3–4,5, что оказалось недостаточным. В результате осаждения гуминовых кислот не происходило. Поэтому для проведения количественного анализа применяли 5 % раствор соляной кислоты (HCl).

Органолептическая оценка сбитня с гуминовыми кислотами проводилась по ГОСТ 6687.5-86.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основным технологическим процессом получения гуминовых веществ из леонардита является экстракция. В связи с этим, для подбора рациональных технологических параметров выделения гуминовых кислот были исследованы следующие факторы:

- влияние соотношения массы навески к объему растворителя (гидромодуль);
- влияние температуры на процесс экстракции;
- влияние продолжительности экстрагирования.

На основании литературных данных [12, 13] и ГОСТ 9517-94 «Топливо твердое. Методы определения выхода гуминовых кислот» были выбраны следующие соотношения массы образца и массы экстрагента (гидромодуль): 1:10, 1:50, 1:100.

Особенностью использования соды пищевой является пенообразование при осаждении гуминовых кислот, это следует учитывать при технологическом процессе (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пенообразование гуминовых кислот

Figure1 – Foaming of humicacids

При исследовании влияния гидромодуля выделение гуминовых веществ проводилось при температуре 100 ºС в течение 2-х часов.

Результаты выхода гуминовых кислот (ГК, % от массы навески) в зависимости от используемого гидромодуля представлены на рисунке 2.

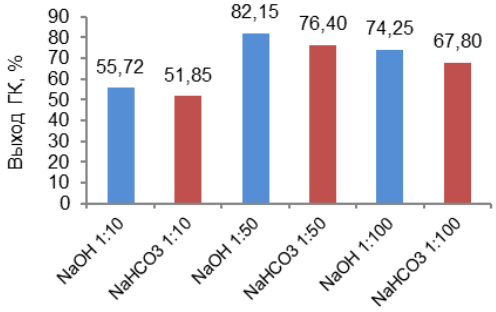


Рисунок 2 – Зависимость выхода гуминовых кислот из леонардита от гидромодуля

Figure 2 – Dependence of the yield of humic acids from leonardite on the hydromodule

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что наибольший выход гуминовых кислот наблюдается при гидромодуле 1:50. Несмотря на то, что NaOH является более эффективным экстрагентом, $NaHCO_3$ также можно рекомендовать для выделения гуминовых кислот из леонардита, так как разница в максимальных значениях составляет всего 5,75 %.

Извлечение гуминовых веществ различные исследователи проводят в широком диапазоне температур, от 18 до 120 ºС [12]. В качестве исследуемых параметров были выбраны температуры: 20, 60 и 100 ºС. Извлечение проводили в течение 2-х часов.

Также были исследованы варианты с различным гидромодулем. Зависимость выхода гуминовых кислот от температуры экстрагирования представлена на рисунке 3.

Как видно из представленных результатов, максимальный выход гуминовых кислот наблюдался в экстракте, полученном при температуре 100 ºС и гидромодуле 1:50. Выход гуминовых кислот составил 76,4 % от массы навески. Выход гуминовых кислот в экстракте, полученном при температуре 60 ºС и таком же гидромодуле, был ниже на 3 % и составил 73,42 % от массы навески.

Наименьший выход гуминовых кислот наблюдался при гидромодуле 1:10 и температуре экстракции 20 ºС.

Для определения рациональной продолжительности процесса экстракции для извлечения гуминовых кислот в качестве среднего значения была выбрана продолжительность, рекомендуемая ГОСТ 9517-94, – 2 часа.

Диапазон значений был определен с шагом в 1,5 часа и составил 0,5 часа в минимуме и 3,5 часа в максимуме.

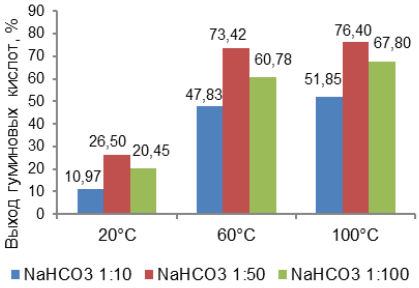


Рисунок 3 – Зависимость выхода гуминовых кислот от температуры экстрагирования

Figure 3 – Dependence of the yield of humic acids on the extraction temperature

Так как по результатам предыдущих исследований гидромодуль 1:10 и температура экстракции 20 ºС были признаны неэффективными, выход гуминовых кислот определяли при гидромодулях 1:50 и 1:100 и температурах 60 и 100 ºС.

Результаты выхода гуминовых кислот в зависимости от продолжительности процесса экстракции представлены на рисунках 4, 5.

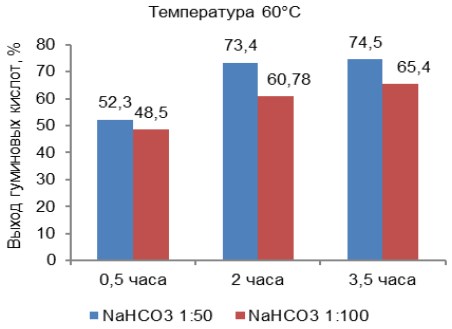


Рисунок 4 – Выход гуминовых кислот в зависимости от продолжительности процесса экстракции при температуре 60 ºС

Figure 4 – Yield of humic acids depending on the duration of the extraction process at a temperature of 60 ºС

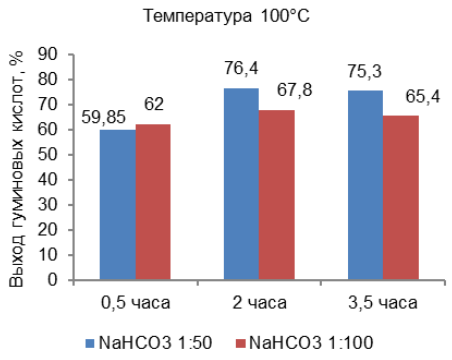


Рисунок 5 – Выход гуминовых кислот в зависимости от продолжительности процесса экстракции при температуре 100 ºС

Figure 5 – Yield of humic acids depending on the duration of the extraction process at a temperature of 100 ºС

Как показывают результаты эксперимента, продолжительности экстракции 0,5 часа недостаточно для количественного извлечения гуминовых кислот. Однако

увеличение продолжительности экстракции до 3,5 часов также не дает достоверного увеличения выхода гуминовых веществ. Возможно, максимальный выход гуминовых веществ 76,4 % – это предельное извлечение при данных технологических параметрах с использованием 1 % раствор $NaHCO_3$ в качестве растворителя. Выделенные из леонардита гуминовые кислоты использовали в составе рецептуры концентрата сбитня. На основании предварительно проведенных экспериментальных исследований подобрана дозировка гуминовых кислот, обеспечивающая наилучшие органолептические показатели сбитня.

Рецептура концентрата сбитня с гуминовыми кислотами приведена в таблице 1.

По органолептическим показателям концентрат «Сбитень медовый с гуминовыми кислотами» соответствует медовому напитку, имеет медово-янтарный цвет. Аромат, запах и вкус – медово-пряный с кислинкой. Консистенция концентрата напитка вязкая, медовая. Дозировка гуминовых кислот в количестве 25 мл на 1 л готового продукта обеспечила наилучшие качественные показатели.

Таблица 1 – Рецептура концентрата медового сбитня с гуминовыми кислотами

Table 1 – Formulation of honeydew concentrate with humic acids

Наименование компонентов	Расход сырья на 1 л готовой продукции			
	Контрольный вариант	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3
Мед натуральный, г	969,6	954,6	947,6	939,6
Гуминовые кислоты, мл	–	20 (3 %)	25 (3,5%)	30 (4 %)
Вода подготовленная, мл	25	20	22	25
Имбирь молотый, г	0,9	0,9	0,9	0,9
Гвоздика молотая, г	0,9	0,9	0,9	0,9
Корица молотая, г	0,9	0,9	0,9	0,9
Кориандр молотый, г	0,9	0,9	0,9	0,9
Орех мускатный, г	0,9	0,9	0,9	0,9
Перец душистый мол., г	0,9	0,9	0,9	0,9
ИТОГО, мл	1000	1000	1000	1000

Таблица 2 – Микробиологические показатели концентрата напитка «Сбитень медовый с гуминовыми кислотами»

Table 2 – Microbiological parameters of the concentrate of the drink "Sbiten honey with humic acids"

№	Показатели, единицы измерения	НД на метод испытаний	Нормы по НД	Результаты испытаний
1	КМАФАиМ, КОЕ/см3	ГОСТ 30712, п. 6.1	не более 5 Х10 4	2,5 Х 10 2
2	БГКП	ГОСТ 30712, п. 6.3.1.2.	не допускается в 1,0 г	не обнаружено в 1,0 г
3	Дрожжи и плесень (в сумме) КОЕ /см	ГОСТ 30712, п. 6.4, кроме п. 6.4.1.2	не более 10	менее 1,0

По физико-химическим показателям концентрат напитка «Сбитень медовый с гуминовыми кислотами» соответствует ГОСТ 34144-2017 Концентраты для безалкогольных напитков. Общие технические условия» [14].

Массовая доля сухих веществ в разработанном продукте составила 82,84 %, кислотность – 3,87 ($см^3$ 1м NaOH /100 $см^3$).

По микробиологическим показателям концентрат напитка с гуминовыми кислотами соответствуют нормативным значениям [14].

ВЫВОДЫ

Разработаны технологические параметры выделения гуминовых кислот из леонардита месторождения, расположенного в Канско-Ачинском бассейне ООО «Разрез «Степановский» и рецептура сбитня с их использованием в составе напитка. Установлено, что:

- применение пищевой соды в качестве экстрагента, хотя и уменьшает выход гуминовых веществ на 5 % по сравнению со щелочью, вполне обосновано, если в дальнейшем гуминовые экстракты будут использованы для пищевых целей;
- рациональным гидромодулем для извлечения всех фракций гуминовых веществ является гидромодуль 1:50;
- рациональной температурой для извлечения гуминовых кислот является 100 ºС;
- при увеличении продолжительности процесса экстракции до 3,5 часов наблюдается незначительное увеличение выхода гуминовых кислот, однако экстракция в течение 2-х часов также может быть рекомендована для большей экономической целесообразности.
- разработана рецептура концентрата сбитня с добавлением гуминовых кислот, выделенных из леонардита;
- определена рациональная дозировка гуминовых кислот (3,5 % на 1 л продукта), при которой наблюдаются наилучшие органолептические показатели сбитня. Физико-химические и микробиологические показатели концентрата сбитня соответствуют нормативным значениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухалова Г.Р., Затонская Л.В. Исследование гуминовых и фульвокислот мумие по данным ИК-спектроскопии / Г.Р. Бухалова, Л.В. Затонская // Ползуновский вестник, № 3, 2023. С. 197–202. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.027. EDN: https://elibrary.ru/TZAVYO.

2. Goel P., Dhingra M. Humic Substances: Prospects for Use in Agriculture and Medicine. / P. Goel, M. Dhingra // London: Intech Open. 2021. P. 184. DOI: 10.5772/intechopen.99651.

3. Murbach T.S. A toxicological evaluation of a fulvic and humic acids preparation / T.S. Murbach [et. al.] // Toxicology Reports. 2020. Vol. 7. P. 1242–1254. doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.08.030.

4. Piccolo A. The nature of soil organic matter and innovative soil managements to fight global changes and maintain agricultural productivity / A. Piccolo // Carbon Sequestration in Agricultural Soils.Springer-Verlag. 2011. P. 1–19.

5. Malan C. Review: humic and fulvic acids. A practical approach / C. Malan // Sustainable soil management symposium. 2015. P. 21.

6. Eyheraguibel B., Silvestre J., Morard P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement

on the growth and mineral nutrition of maize / B. Eyheraguibel, J. Silvestre, P. Morard // Bioresour. Technol. 2008. Vol. 99, (10). P. 4206–4212.

7. Shah Z.H. Humic substances: determining potential molecular regulatory processes in plants / Z.H. Shah [et al.] // Front. Plat Sci. 2018. Vol. 9. P. 263.

8. Qin K., Leskovar D. Assessments of humic substances application and deficit irrigation in triploid watermelon / K. Qin, D. Leskovar // Hort Science. 2020. Vol. 55, (5). P. 716–72.

9. Иванов А.А. Влияние гуминовых препаратов на прорастание семян / А.А. Иванов [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина, № 1, Т. 53. 2019. С. 79–85. DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-1-79-85.

10. Новоселов Я.Б. Патент № 5224436 JP «Безалкогольный напиток для внутренней очистки и способ его производства», 2020.

11. Новоселов Я.Б. Жидкий концентрат безалкогольного напитка. Патент RU № 2752428 C1, 2021.

12. Гостищева М.В., Федько И.В., Писниченко Е.О. Сравнительная характеристика методов выделения гуминовых кислот из торфов с целью получения гуминовых препаратов / М.В. Гостищева, И.В. Федько, Е.О. Писниченко // Доклады ТУСУРа. Автоматизированные системы обработки информации, управления и проектирования, 2004. С. 66–69.

13. Корельская Т.А. Выделение гуминовых кислот из верхового торфа приморского района архангельской области / Т.А. Корельская [и др.] // Вестник Тверского государственного университета. Серия «Химия», № 3, (45), 2021. С. 167–174.

14. ГОСТ 34144-2017 Концентраты для безалкогольных напитков. Общие технические условия. М., 2018. 2–8 с.

Информация об авторах

И. В. Бондарь – аспирант института пищевых производств ФГБОУ ВО Красноярского ГАУ.

Н. А. Величко – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Технология консервирования и пищевая биотехнология» ФГБОУ ВО Красноярского ГАУ.

О. В. Стутко – научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории проблем переработки масличных культур ФГБОУ ВО Красноярского ГАУ.

REFERENCES

1. Bukhalova, G.R. Zatonskaya, L.V. (2023). Investigation of humic and fulvic acids of moomiyo according to IR spectroscopy data. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 197-202. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.027. https://elibrary.ru/TZAVYO.

2. Goel, P. & Dhingra, M. (2021). *Humic Substances: Prospects for Use in Agriculture and Medicine*. In: Makan A, editor. London: Intech Open. DOI: 10.5772/intechopen.99651.

3. Murbach, T., Glávits, R., Endres, J., Clewell, A., Hirka, G., Vertesi, A., Beres, E. & Szakonyiné, I. (2020). A toxicological evaluation of a fulvic and humic acids preparation. *Toxicology Reports*, (7), 1242-1254. doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.08.030.

4. Piccolo, A. (2011). The nature of soil organic matter and innovative soil managements to fight global changes and maintain agricultural productivity. *Carbon Sequestration in Agricultural Soils. Springer-Verlag,* 1-19.

5. Malan, C. (2015). Review: humic and fulvic acids. A practical approach. *Sustainable soil management symposium,* 21.

6. Eyheraguibe, I.B., Silvestre, J. & Morard, P. (2008). Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresour. Technol*., 99, (10), 4206-4212.

7. Shah, Z.H., Rehman, H.M., Akhtar, T., Alsamadany, H., Hamooh, B.T., Mujtaba, T., Daur, I., Al Zahrani, Y. & Alzahrani, H.A.S. (2018). Humic substances: determining potential molecular regulatory processes in plants. *Front. Plant Sci.*, (9), 263. doi.org/10.3389/fpls.2018.00263.

8. Qin, K., Leskovar, D. (2020). Assessments of humic substances application and deficit irrigation in triploid watermelon. *Hort Science,* 55, (5), 716-721.

9. Ivanov, A.A., Sidakova, Ya.V., Kosolapova, N.I. & Levinskikh, M.A. (2019). Effect of humic preparations on seed germination. *Aerospace and Environmental Medicine*, (53), 79-85. DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-1-79-85.

10. Novoselov, Ya.B. Patent No. 5224436 JP "Soft drink for internal purification and method of its production".

11. Novoselov, Ya.B. Liquid concentrate of a soft drink. Patent RU No. 2752428. C. 1, 2021.

12. Gostishheva, M.V., Fed`ko, I.V. & Pisnichenko, E.O. (2004). Comparative characteristics of methods for the extraction of humic acids from peat in order to obtain humic preparations. *Doklady` TU-SURa. Automated information processing, management and design systems*, 66-69.

13. Korel`skaya, T.A. (2021). Isolation of humic acids from the top peat of the Primorsky district of the Arkhangelsk region *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Chemistry series*, (45), 167-174.

14. GOST 34144-2017 Concentrates for non-alcoholic beverages. General technical conditions.

Information about the authors

I.V. Bondar' - postgraduate student of the Institute of Food Production of the Krasnoyarsk State Agrarian University.

N.A. Velichko - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Technology of Canning and Food Biotechnology" of the Krasnoyarsk State Agrarian University.

O.V. Stutko - is a researcher at the Research Laboratory of problems of processing oilseeds of the Krasnoyarsk State Agrarian University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 167–171.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 167–171.

Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.143
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.026 EDN: MCTCBJ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗЕФИРА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОМОГЕННОЙ ПАСТЫ, ПРОИЗВЕДЕННОЙ ИЗ ПЛОДОВ МЕЛКОПЛОДНЫХ ЯБЛОНЬ

Денис Александрович Кох [1], Жанна Александровна Кох [2]

[1] ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Красноярск, Россия

[1] dekoch@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3047-1386
[2] jannetta-83@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4016-7596

Аннотация. *Пастиломармеладная продукция имеет коллоидно-дисперсную структуру, поэтому проблема ее стабилизации является актуальной. Сегодня продукты питания предназначены не только для того, чтобы утолять голод и обеспечивать необходимые питательные вещества, но и для профилактики заболеваний, связанных с питанием. В связи с этим, исследование функционально-технологического потенциала гомогенной яблочной пасты из плодов мелкоплодных яблонь с точки зрения ее влияния на качество и сроки сохранения свежести пастиломармеладных изделий является актуальным. Использование полуфабрикатов в технологии производства высококачественных пищевых продуктов является одним из основных направлений. Зефир – это аэрированное кондитерское изделие, которое может производиться в самых разных формах, размерах и текстурных свойствах в зависимости от предполагаемых характеристик конечного продукта и потребительского спроса. Использование плодово-фруктовых пастообразных полуфабрикатов в рационе питания позволит устранить сезонность в употреблении населением натуральных функциональных продуктов. Целью работы является совершенствование рецептуры зефира с применением гомогенной яблочной пасты, изготовленной методом СВЧ из мелкоплодных яблонь Красноярского края (сырье с высоким содержанием пектина). Исследовались опытные образцы зефирной массы. Замена стандартного яблочного пюре на гомогенную пасту решает три задачи: позволяет контролировать пищевую ценность, обеспечивает заданную консистенцию и сокращает время сушки (за счет повышенного содержания сухих веществ в пасте). Разработка ведется на основе патента РФ № 821727. Результаты экспериментов доказывают, что использование именно этого вида полуфабриката имеет важное значение для целенаправленного изменения свойств зефира.*

Ключевые слова: *пищевая индустрия, сахаристые кондитерские изделия, технологический процесс, сбивные кондитерские изделия (пастиломармеладная группа), гомогенизированное яблочное сырье, зефирная композиция, рецептурно-технологическое решение, микроволновая обработка, СВЧ-нагрев.*

Для цитирования: Кох Д. А., Кох Ж. А. Совершенствование технологии получения зефира путем использования гомогенной пасты, произведенной из плодов мелкоплодных яблонь // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 167–171. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.026. EDN: https://elibrary.ru/MCTCBJ.

Original article

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING MARSHMALLOW THROUGH USE OF HOMOGENEOUS PASTE MADE FROM SMALL-FRUITED APPLES

Denis A. Koch [1], Zhanna A. Koch [2]

[1, 2] Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
[2] Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

[1] dekoch@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3047-1386
[2] jannetta-83@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4016-7596

Abstract. *Pastila-marmalade products have a colloidal-disperse structure, so the problem of its stabilization is relevant Today, food products are designed not only to satisfy hunger and provide the necessary nutrients, but also to prevent nutrition-related diseases. In this regard, the study of functional-technological potential of homogeneous apple paste from the fruits of small fruit yablons in terms of its influence on the quality and freshness preservation period of pastilomarmeladnyh products is relevant. The use of semi-finished products in the technology of production of high-*

© Кох Д. А., Кох Ж. А., 2026

quality food products is one of the main directions. Marshmallow is an aerated confectionery product, which can be produced in various shapes, sizes and textural properties depending on the expected characteristics of the final product and consumer demand. The use of fruit and fruit paste semifinished products in the diet will eliminate seasonality in the use of natural functional products by the population. The purpose of the work is to improve the recipe of marshmallows using homogeneous apple paste made by the microwave method from small-fruited apple trees of the Krasnoyarsk Territory (raw materials with a high pectin content). Experimental samples of marshmallow mass were studied. Replacing standard applesauce with homogeneous paste solves three problems: it allows you to control the nutritional value, provides a given consistency and reduces the drying time (due to the increased content of dry substances in the paste). The development is based on the patent of the Russian Federation No 821727. The results of the experiments prove that the use of this type of semi-finished product is important for purposefully changing the properties of marshmallows.

Keywords: *food industry, sugar confectionery, technological process, whipped confectionery (pastille-marmalade group), homogenized apple raw materials, zephyr composition, recipe and technological solution, microwave processing, microwave heating.*

For citation: Kokh, D.A. & Kokh, Zh.A. (2026). Improvement of technology for obtaining marshmallow through use of homogeneous paste made from small-fruited apples. Polzunovskiy vestnik, (1), 167-171. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.026. EDN: https: //elibrary.ru/MCTCBJ

ВВЕДЕНИЕ

Кондитерские изделия представляют собой обширную группу пищевых продуктов, включающую конфеты, карамель, зефир, помадку, желе и другие сладости. Благодаря разнообразию форм и цветов, а также неповторимым вкусовым и текстурным характеристикам, они пользуются неизменной популярностью среди всех возрастных категорий, при этом особую привязанность к данной продукции проявляют дети [1–3].

Зефир представляет собой мягкое кондитерское изделие с пористой структурой, низкой плотностью и характерными текстурными свойствами. В зависимости от влажности, рецептурного состава и способа технологической обработки его подразделяют на отсадной и экструдированный виды. В дополнение к классификациям экструдированного и отсадного, можно классифицировать содержащийся в нем сахар в соответствии с его частичной кристаллизацией или некристаллизацией. Одной из важнейших характеристик зефира является аэрация, а другой – уровень содержания влаги и его влияние на текстурные свойства.

Для формирования характерной текстуры и обеспечения стабильной структуры зефира традиционно применяются гидроколлоиды или их композиции, среди которых ключевую роль играет желатин. В качестве альтернативных стабилизаторов животного происхождения также используются яичный и молочные белки. Таким образом, достижение стандартных органолептических и структурных показателей зефира в классической рецептуре базируется преимущественно на компонентах животного генеза. Однако данная специфика сырья может вызывать неприятие продукта у определенных категорий потребителей (веганы, этические, религиозные сообщества), что обуславливает актуальность поиска инновационных растительных заменителей. Такие ингредиенты должны не только соответствовать ожиданиям целевых групп, но и полноценно выполнять технологические функции замещаемых стабилизаторов. Перспективным источником растительных структурообразователей выступают плодово-ягодные пастообразные полуфабрикаты [1, 2, 4–9].

В настоящее время особое внимание уделяется технологиям на основе природных источников биологически активных соединений, богатых антиоксидантами – веществами с полезным действием на здоровье человека [4–7]. Использование плодово-фруктовых пастообразных полуфабрикатов в технологии производства высококачественных пищевых продуктов является одним из основных направлений. Для реализации этого направления на практике, перед каждой отраслью пищевой промышленности поставлена задача производства новой технологии готовой продукции на разных уровнях. Общая взаимозависимость пищевой и перерабатывающей промышленности решает многогранные задачи индустриализации отрасли [8–10].

Зефир – это аэрированное кондитерское изделие, которое может производиться в самых разных формах, размерах и текстурных свойствах в зависимости от предполагаемых характеристик конечного продукта и потребительского спроса. Однако основными характеристиками являются низкая плотность, твердость, пенистая и эластичная структура. В производстве зефира используются четыре основных ингредиента: сахароза, углеводный сироп, желатин и/или яичный белок и вода.

Среди альтернативных ингредиентов, которые могут быть использованы для удовлетворения потребностей потребителей, можно назвать плодово-ягодные полуфабрикаты, различные перерабатываемые пищевые отходы и побочные продукты [11, 12].

Использование плодово-фруктовых пастообразных полуфабрикатов в рационе питания позволит устранить сезонность в употреблении населением натуральных функциональных продуктов. В настоящее время в большинстве случаев переработка плодово-фруктового сырья в пастообразные полуфабрикаты осуществляется на отечественных линиях, по сравнению с зарубежными аналогами они имеют значительные удельные ресурсозатраты. Получение высококачественных пастообразных полуфабрикатов высокой степени готовности обеспечивается использованием современного ресурсосберегающего тепломассообменного оборудования с рациональными параметрами при СВЧ обработке [8, 9, 11, 12].

Плодово-фруктовые пастообразные полуфабрикаты имеют разный потенциал, они имеют более высокое содержание сухого вещества, что делает их более выгодными, чем фруктовые соки и пюре, кроме того, они могут способствовать приобретению сенсорных свойств, которые совместимы с ароматизаторами и красителями, часто используемыми в кондитерских изделиях. С другой стороны, плодово-фруктовые пастообразные полуфабрикаты имеют разный состав и свойства, поэтому ожидается, что их воздействие на конечный продукт будет разным. В ряде научных работ [2, 4–7, 9] показана перспективность использования плодово-ягодных паст в кондитерском производстве, однако влияние именно гомогенной пасты из мелкоплодных яблонь, прошедшей СВЧ-обработку, на качество зефира изучено недостаточно, что определяет актуальность данного исследования.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЗЕФИРА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОМОГЕННОЙ ПАСТЫ, ПРОИЗВЕДЕННОЙ ИЗ ПЛОДОВ МЕЛКОПЛОДНЫХ ЯБЛОНЬ

Целью научно-исследовательской работы является совершенствование технологии получения зефира путем использования гомогенной пасты, произведенной из плодов мелкоплодных яблонь методом СВЧ-обработки. В задачи исследования входило определение оптимальных дозировок внесения пасты, анализ влияния нового полуфабриката на органолептические и физико-химические показатели готового продукта, а также оценка экономической эффективности предлагаемого технологического решения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – образцы зефирной массы на основе гомогенной яблочной пасты. Сырьем для пасты служили плоды мелкоплодных яблонь Красноярского края с высоким содержанием пектина.

В работе использовали стандартизированные методы анализа. В пасте определяли: сухие вещества (рефрактометр Аббе ISOLAB), pH (иономер ИТАН), пектин (ГОСТ 29059-91), полифенолы (колориметрический метод). Отбор проб – по ГОСТ 5904-2019. Органолептическую оценку зефира проводили согласно ГОСТ и по балльной шкале. Влажность определяли высушиванием, кислотность – титрованием щелочью с фенолфталеином.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гомогенная яблочная паста, полученная методом СВЧ-нагрева, характеризовалась следующими показателями: массовая доля сухих веществ составила 25,4 %, содержание пектиновых веществ – 5,35 %, величина активной кислотности (pH) – 3,3. Полученные органолептические и физико-химические показатели гомогенной яблочной пасты свидетельствуют о повышении прочности структуры пастообразной композиции, что позволяет рекомендовать ее использование в качестве структурообразователя в различных кондитерских изделиях, таких как зефир, пастила и др. [11, 15].

Известная технология производства зефира включает в себя подготовку сырья, приготовление сахаро-паточного сиропа, смешивание зефирной массы, формование с формированием структуры, сушку и посыпку сахарной пудрой [4–7, 14].

Использование гомогенной яблочной пасты вместо традиционного яблочного пюре в рецептуре зефира позволяет обеспечить стабильность формируемой консистенции и сократить продолжительность сушки готового изделия благодаря более высокому содержанию сухих веществ в полуфабрикате. Совершенствование способа производства зефира с использованием гомогенной яблочной пасты осуществлялось согласно технологии, указанной в патенте РФ № 821727 [13]. Для определения оптимального количества гомогенной яблочной пасты были предложены опытные образцы при соотношении рецептурных компонентов, кг на 1000 кг готовой продукции (таблица 1).

Таблица 1 – Компонентный состав рецептур зефира

Table 1 – Component composition of marshmallow recipes

Наименование сырья	Расход сырья кг на 1000 кг готовой продукции			
	Контр.	1	2	3
Сахар белый	670,6	705,4	670,13	634,86
Пектин яблочный	13,4	–	–	–
Белок яичный	65,0	85,0	80,0	75,0
Яблочное пюре	298,0	–	–	–
Гомогенная яблочная паста из плодов мелкоплодных яблонь	–	138,6	180,47	216,17
Сахарная пудра	29,9	29,9	29,9	29,9
Патока	142,9	35,0	35,0	35,0
Кислота молочная	8,3	6,1	4,5	3,5
Лактат натрия	6,8	–	–	–

Анализ компонентного состава, представленный в таблице 1, подтверждает, что введение в рецептуру гомогенной яблочной пасты из мелкоплодных яблонь позволяет полностью исключить из состава традиционные компоненты: яблочное пюре – 298 кг в контроле и яблочный пектин – 13,4 кг. Во всех опытных образцах 1–3 используется только гомогенная паста в количестве от 138,6 до 216,17 кг. Важным технологическим и экономическим эффектом данной замены является резкое сокращение расхода патоки – со 142,9 кг в контроле до стабильных 35,0 кг в опытных образцах (снижение более чем в 4 раза). Кроме того, наблюдается уменьшение доли молочной кислоты с 8,3 кг до 3,5–6,1 кг и сахара с 670,6 кг до 634,86–705,4 кг по мере увеличения дозировки пасты, что свидетельствует о влиянии собственных сахаров и кислот пасты на рецептурный баланс. Совокупность этих факторов ведет к существенному снижению себестоимости готовой продукции.

Полученная зефирная масса с заменой яблочного пюре на гомогенную яблочную пасту позволяет улучшить органолептические и физико-химические показатели готового продукта (таблица 2).

Таблица 2 – Органолептические и физико-химические показатели качества зефира

Table 2 – Organoleptic and physicochemical indicators of marshmallow quality

Показатель	Требования по ГОСТ	Результаты анализа по примерам		
		1	2	3
1	2	3	4	5
Органолептические показатели				
Вкус и запах	Свойственные данному наименованию продукта с учетом вкусовых добавок, без постороннего привкуса и запаха. Не допускается привкус диоксида серы, резкий вкус и запах применяемых ароматизаторов	Умеренно сладкий, лёгкий яблочный привкус	Умеренно сладкий, легкий вкус и аромат яблок	Нейтрально-сладкий, нежный, приятный вкус и аромат яблок
Форма	Различная, без деформаций	Без деформаций		
Цвет	Свойственный данному наименованию продукта, равномерный, допускается окраска используемых добавлений	Светло-розовый, равномерный		

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

1	2	3	4	5
Консистенция	В зависимости от состава может быть мягкая, легко поддающаяся разламыванию, слегка затяжистая для изделий на пектине и с различными добавлениями. Не допускается наличие кристаллов сахара: затяжистая для зефира на желатине и желирующем крахмале	Упруго-эластичная, легко поддающаяся разламыванию		
Структура	Свойственная данному наименованию продукта, пенообразная, равномерная	Плотная, равномерная мелкопористая, не мажущаяся, четкий разрез при разрезе изделия на две половинки		
Поверхность	Свойственная данному наименованию продукта, без грубого затвердевания на боковых гранях и выделения сиропа	Свойственная зефиру, без грубого затвердевания на боковых гранях и выделения сиропа		
Физико-химические показатели				
Плотность, г/см^3 не более	0,6	0,44	0,48	0,52
Кислотность, град. не менее	0,5	1,56	1,62	1,67
Массовая доля фруктового сырья, % не менее	11	14,5	14,8	15,2
Массовая доля влаги, % не более	25	20	19,5	18,9
Массовая доля золы, не растворимой в соляной кислоте, с массовой долей 10 %, % не более	0,05	0,018	0,019	0,020
Пектиновые вещества, %	–	3,51	4,12	4,48
Полифенольные вещества, %	–	38,6	41,2	42,8
Пищевые волокна, %	–	2,28	3,05	3,89

Анализ таблицы 2 показывает, что увеличение дозировки гомогенной яблочной пасты от 138,6 до 216,17 кг в образцах 1–3 оказывает направленное влияние на качественные характеристики зефира. Органолептическая оценка выявила улучшение вкусо-ароматического профиля от умеренно сладкого с легким привкусом (образец 1) до гармоничного, нейтрально-сладкого с выраженным яблочным ароматом (образец 3). Физико-химические показатели всех образцов соответствуют требованиям ГОСТ. При этом повышение доли пасты сопровождается ростом массовой доли фруктового сырья до 15,2 %, пектиновых веществ до 4,48 %, полифенолов до 42,8% и пищевых волокон до 3,89 %, что свидетельствует о повышении пищевой ценности готового продукта. Снижение влажности до 18,9 % подтверждает технологическую эффективность использования пасты, а незначительный рост плотности до 0,52 г/см³ не ухудшает потребительских свойств, оставаясь в пределах установленных нормативов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения научных исследований было осуществлено совершенствование технологии производства зефира путем замены традиционного яблочного пюре и пектина на инновационный полуфабрикат – гомогенную яблочную пасту, полученную методом СВЧ-обработки из плодов мелкоплодных яблонь, произрастающих в Красноярском крае.

Плоды мелкоплодных яблонь характеризуются высоким содержанием пектиновых веществ, что делает их идеальной основой для получения структурообразователя растительного происхождения. Применение СВЧ-нагрева при производстве пасты позволило получить продукт с высокими показателями качества: массовая доля сухих веществ составила 25,4 %, содержание пектина – 5,35 % при pH 3,3. Данные характеристики подтверждают целесообразность использования пасты в качестве многофункционального компонента, способного влиять на структуру, вкус и пищевую ценность кондитерских изделий.

Экспериментально доказано, что введение гомогенной яблочной пасты в количестве от 138,6 до 216,17 кг на 1000 кг готовой продукции позволяет полностью исключить из рецептуры яблочное пюре и яблочный пектин. Это приводит к значительному упрощению рецептурного состава и снижению нагрузки на производственный процесс.

Ключевым результатом замены сырья является резкое сокращение расхода патоки (более чем в 4 раза – со 142,9 кг до стабильных 35,0 кг), а также снижение доли молочной кислоты и сахара. Совокупность этих факторов обеспечивает существенное снижение себестоимости готовой продукции при сохранении высокого качества.

Анализ органолептических и физико-химических показателей (таблица 2) подтвердил, что все опытные образцы соответствуют требованиям ГОСТ.

Установлено, что увеличение дозировки пасты улучшает вкусо-ароматический профиль зефира, делая его более гармоничным, с выраженным яблочным оттенком (образец 3). Выявлен рост содержания биологически ценных компонентов: пектиновых веществ до 4,48 %, полифенолов до 42,8 % и пищевых волокон до 3,89 %, что позволяет характеризовать разработанный продукт как обогащенный. Снижение массовой доли влаги (до 18,9 %) подтверждает тех-

нологическое преимущество использования пасты с высоким содержанием сухих веществ, что способствует сокращению времени сушки.

Таким образом, разработанная технология производства зефира с использованием гомогенной яблочной пасты из мелкоплодных яблонь (патент РФ № 821727) является эффективным решением актуальной задачи по расширению ассортимента кондитерских изделий на растительной основе. Предложенный подход позволяет не только отказаться от компонентов животного происхождения (желатин замещен пектином пасты, снижена доля яичного белка), но и получить продукт с улучшенными потребительскими свойствами и повышенной пищевой ценностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности формирования качества и безопасности на предприятиях по производству сахаристых кондитерских изделий / М.В. Дикарева, К.Е. Белоглазова, Г.Е. Рысмухамбетова, Н.В. Коник // АПК России: образование, наука, производство : сборник статей VII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 19–21 декабря 2023 года. Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2024. С. 28–32.

2. Разработка ассортимента пастильных изделий функциональной направленности / Г.О. Магомедов, Л.А. Лобосова, В.О. Волкова, Н.С. Деревщиков // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений : сборник научных статей и докладов X Международной научно-технической конференции, Воронеж, 01–02 июля 2022 года. Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2022. С. 316–319.

3. Разработка и создание функциональных продуктов из растительного сырья в Мичуринском государственном аграрном университете / В.Ф. Винницкая, Д.В. Акишин, О.В. Перфилова [и др.] // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2013. № 6. С. 83–86.

4. Разработка нового вида зефира черносмородинового с использованием базилика / Н.В. Присухина, Л.Г. Ермош, Н.Н. Типсина, П.В. Осетрова // Вестник КрасГАУ. 2020. № 3(156). С. 135–142. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-3-135-142.

5. Разработка технологии зефира с повышенной пищевой ценностью / Н.Г. Иванова, И.А. Никитин, Д.А. Велина [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84, № 3(93).С. 40–46. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-3-40-46.

6. Суворова Е.М. Разработка технологии и рецептуры зефира повышенной пищевой ценности / Е.М. Суворова, Е.В. Барашкина, Р.А. Журавлев // Инновации в индустрии питания и сервисе : электронный сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Краснодар, 11 ноября 2022 года. Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2023. С. 42–46.

7. Янова М.А. Разработка нового вида кондитерского изделия пастильной группы (зефира) с добавлением яблочно-морковного пюре / М.А. Янова, А.В. Ларькина, А.В. Сазонова // Вестник КрасГАУ. 2023. № 2(191). С. 228–235. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-2-228-235.

8. Исследование компонентов, формирующих органолептические характеристики плодов и ягод / И.М. Почицкая, Ю.Ф. Росляков, Н.В. Комарова, В.Л. Рослик // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49, № 1. С. 50–61. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-1-50-61.

9. Новое в технике и технологии зефира функционального назначения : монография / Г.О. Магомедов, Л.А. Лобосова, А.Я. Олейникова. Воронеж : ВГТА, 2008. 156 с.

10. Табаторович А.Н. Особенности химического состава яблочного пюре как основа идентификации / А.Н. Табаторович, И.Ю. Резниченко // Техника и технология пищевых производств. 2015. № 3 (38). С. 153–159.

11. Кох Д.А. Совершенствование способа производства гомогенной яблочной пасты из плодов мелкоплодных яблонь / Д.А. Кох, Ж.А. Кох // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2024. № 1(395). С. 34–37. DOI: 10.26297/0579-3009.2024.1.6.

12. Перфилова О.В. Преимущества применения СВЧ-нагрева при переработке вторичного фруктового сырья / О.В. Перфилова // Технологии и продукты здорового питания : сборник статей XII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 17–18 декабря 2020 года / Под общей редакцией Н.В. Неповинных, О.М. Поповой, Е.В. Фатьянова. Саратов : Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2021. С. 534–539.

13. Пат. 2821727 РФ. Способ производства зефира / Д.А. Кох, Ж.А. Кох // БИМП. 26.06.2024.

14. Кох Д.А. Гомогенная яблочная паста из плодов мелкоплодных яблонь в производстве желейного мармелада / Д.А. Кох, Ж.А. Кох // Ползуновский вестник. 2025. № 1. С. 97–102. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.011.

15. Кох Д.А. Совершенствование способа производства яблочной пасты из замороженных выжимок плодов мелкоплодных яблонь / Д.А. Кох, Ж.А. Кох // Пищевая промышленность. 2025. № 4. С. 52–55. DOI: 10.52653/PPI.2025.4.4.009.

Информация об авторах

Д. А. Кох – к.т.н., доцент кафедры технологии хлебопекарного, кондитерских и макаронных производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Ж. А. Кох – к.т.н., доцент кафедры промышленной экологии, процессов и аппаратов химических производств ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева».

Information about the authors

D.A. Kokh - Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department, of technology of bakery, confectionery and pasta production FSBEI HE Krasnoyarsk State Agrarian University.

Zh.A. Kokh - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Ecology, Processes and Apparatuses of Chemical Production, FGBOU VO "Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev".

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 172–176.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 172–176.

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Научная статья
2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)
УДК621.78.011
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.027 EDN: RBBXYM

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 110Г13Х2БРЛ МЕТОДАМИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Ши Хай Нгуен [1], Сергей Анатольевич Гаврилов [2], Михаил Алексеевич Гурьев [3], Сергей Геннадьевич Иванов [4], Алексей Михайлович Гурьев [5], Евгений Александрович Письменный [6]

[1, 2, 3, 4, 5] Алтайский государственный технический университет, г. Барнаул, Россия
[3] Zhejiang Briliant Refrigeration Equipment Co, Ltd, Синчан, Китай
[4] Инновационный центр современных текстильных технологий (Лаборатория Цзяньху), Шаосин, Китай
[4, 5] Ключевая государственная лаборатория цифрового текстильного оборудования провинции Хубэй, Ухань, Китай
[6] АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», г. Москва, Россия

Аннотация. *В настоящем исследовании методы планирования эксперимента использованы для установления взаимосвязи между параметрами термической обработки и механическими свойствами стали Гадфильда 110Г13Х2БРЛ (ударная вязкость и твёрдость). В качестве факторов варьировались температура аустенизации T, время выдержки τ; среда охлаждения – солевой раствор – оставалась неизменной. Для определения оптимальных параметров термообработки опыты были организованы по ортогональному плану второго порядка и выполнена многокритериальная оптимизация по методологии поверхности отклика (RSM). По результатам экспериментальных исследований получены оптимальные значения: $T^{опт}$=1039 °C и $\tau^{опт}$=40мин; при данном режиме ударная вязкость (KCU) и твёрдость составили соответственно 238,07 Дж/см² и 320 HV.*

Ключевые слова: *термическая обработка, аустенитная высокомарганцовистая сталь, 110Г13Х2БРЛ, метод планирования эксперимента, central composite designs, механические свойства.*

Для цитирования: Оптимизация параметров термической обработки стали 110Г13Х2БРЛ методами планирования эксперимента / Нгуен Ш. Х. [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 172–176. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.027. EDN: https://elibrary.ru/RBBXYM.

Original article

OPTIMIZATION OF HEAT-TREATMENT PARAMETERS OF 110G13Kh2BRL STEEL USING DESIGN EXPERIMENTS METHODS

Shi H. Nguyen [1], Sergey A. Gavrilov [2], Michael A. Guryev [3], Sergey G. Ivanov [4], Alexey M. Guryev [5], Evgeniy A. Pysmennyi [6]

[1, 2, 3, 4, 5] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[3] Zhejiang Briliant Refrigeration Equipment Co, Ltd, Xingchang, China
[4] Innovative Center for Advanced Textile Technologies (Jianhua Laboratory), Senior Research Fellow, Shaoxing, China
[4, 5] Key State Laboratory of Digital Textile Equipment of Hubei Province, Wuhan, China
[6] JSC Research Institute of Railway Transport, Moscow, Russian Federation

Abstract. *In the present study, design of experiments methods was used to establish the relationship between the heat-treatment parameters and the mechanical properties (impact toughness and hardness) of Hadfield steel 110G13Kh2BRL. The austenitizing temperature T and holding time τ were varied as factors, while the cooling medium - a salt solution - was kept constant. To determine the optimal heat-treatment parameters, the experiments were arranged according to a second-order orthogonal design, and multi-criteria optimization was carried out using the response surface methodology (RSM). Based on the experimental results, the following optimal values were obtained: T^{opt} = 1039 °C and τ^{opt} = 40 min; under this regime, the impact toughness and hardness were 238.07 J/cm² (KCU) and 320 HV, respectively.*

© Нгуен Ш. Х., Гаврилов С. А., Гурьев М. А., Иванов С. Г., Гурьев А. М., Письменный Е. А., 2026

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 110Г13Х2БРЛ МЕТОДАМИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Keywords: *heat-treatment, austenitic high-manganese steels, 110G13Kh2BRL, design of experiments method, central composite designs, mechanical properties.*

For citation: Nguyen, Sh. H., Gavrilov, S. A., Guryev, M. A., Ivanov, S. G., Guryev, A. M. & Pysmennyi, E. A. (2026). Optimization of heat-treatment parameters of 110G13KH2BRL steel using design experiments methods. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 172-176. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.027. EDN: https: //elibrary.ru/RBBXYM.

ВВЕДЕНИЕ

Аустенитная высокомарганцовистая сталь, известная как сталь Гадфильда, получила широкое распространение и считается надёжным материалом во многих промышленных областях [1–4]. В настоящее время, чтобы удовлетворять жёстким требованиям к высокой ударной стойкости, износостойкости, а также сочетания высокой прочности и пластичности при экономичной технологии производства, этот тип стали обычно легируют карбидообразующими элементами – Cr, V, Ti и др. [4–6] – и подвергают термической обработке [7–11]. В литом состоянии сталь Гадфильда содержит твердые и хрупкие карбидные фазы, сконцентрированные на границах зёрен, что приводит к охрупчиванию материала [2, 3]. Нагрев при 950–1150 ºС с соответствующей выдержкой (в зависимости от размеров изделия) приводит к растворению карбидных фаз, а последующая закалка с подходящей скоростью предотвращает повторное выделение карбидов на границах зёрен в процессе охлаждения и фиксирует структуру аустенита [10, 13].

Параметры термической обработки – температура аустенизациии время выдержки являются критически важными и непосредственно влияют на конечное качество стали Гадфильда [8–10]. Поэтому поиск оптимальных значений температурно-временных режимов термообработки имеет принципиальное значение. В настоящем исследовании для обработки экспериментальных данных и построения регрессионной модели, позволяющей установить взаимосвязь между параметрами термообработки и механическими свойствами (твёрдостью и ударной вязкостью) стали, применяется метод планирования эксперимента Бокса–Уилсона [14–17]. Преимущество данного подхода заключается в том, что он требует меньшего числа опытов по сравнению с традиционными методами при более высокой статистической надёжности получаемых результатов.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Образцы стали Гадфильда 110Г13Х2БРЛ размером 55×10×10мм^3 подвергали термической обработке в камерной печи типа СНОЛ. В качестве факторов рассматривались три параметра: температура аустенизации T, время выдержки τ и скорость охлаждения v. Однако в настоящем исследовании внимание сосредоточено на двух первых факторах – T и τ; скорость охлаждения была принята как фиксированная величина. Экспериментальные измерения средней скорости охлаждения образцов в 10 % водном растворе поваренной соли выполнены термопарным способом. Значение средней скорости охлаждения в интервале температур 1050–100 ºС при этом составили 407 ºС/с. Экспериментальные отклики:

- ударная вязкость Y_1 измерялась на маятниковом копре Метротест КМ-300;

- средняя микротвёрдость Y_2 измерялась на микротвердомере МН-6 при нагрузке 200 г.

Диапазоны натуральных значений факторов приведены в таблице 1. Для реализации метода планирования эксперимента натуральные переменные – T и τ – должны быть преобразованы в виртуальные переменные x_1, x_2 (табл. 1).

Таблица 1 – Диапазоны значений и виртуальные переменные параметров термообработки

Table 1 – Ranges of values and virtual variables of heat treatment parameters

Факторы	T (ºC)	τ (мин)
Значение	950–1050	40–80
Виртуальные переменные	x_1	x_2

При применении ортогонального комбинированного плана второго порядка Бокса–Уилсона (centralcompositedesign, CCD) для двух факторов необходимо выполнить 9 опытов: число опытов в факторных точках $2^2 = 4$; число осевых (звёздных) точек – 4; число опытов в центре плана – 1. В этом случае виртуальные переменные принимают три уровня: −1, 0 и +1.

Переход от натуральных переменных к виртуальным показан в таблице 2.

Таблица 2 – Соответствие натуральных значений факторов их виртуальным переменным

Table 2 – Correspondence of natural values of factors to their virtual variables

Натуральные переменные	Уровни виртуальных переменных			Интервал варьирования
	Верхний (+1)	Нулевой (0)	Нижний (-1)	
T (ºC)	1050	1000	950	50
τ (мин)	80	60	40	20

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После проведения 9 опытов были получены значения ударной вязкости и микротвердости (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты экспериментальных исследований / Table 3 – Resultsofexperimentalstudies

No.	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	$x'_1=x_1^2-2/3$	$x'_2=x_2^2-2/3$	Y_1	Y_2
1	+	+	+	+	0.33333	0.33333	175	217
2	+	–	+	–	0.33333	0.33333	230	254
3	+	+	–	–	0.33333	0.33333	240	320
4	+	–	–	+	0.33333	0.33333	251	215
5	+	+	0	0	0.33333	–0.66667	200	227
6	+	–	0	0	0.33333	–0.66667	225	222
7	+	0	+	0	–0.66667	0.33333	195	230
8	+	0	–	0	–0.66667	0.33333	233	313
9	+	0	0	0	–0.66667	–0.66667	215	200

Построение регрессионной модели ударной вязкости.

Уравнение регрессии для ударной вязкости имеет вид:

$$Y_1 = a'_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{12}x_1x_2 + a_{11}x'_1 + a_{22}x'_2$$

По результатам расчётов значения коэффициентов регрессии a приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет коэффициентов регрессии a / Table 4 – Calculation of regression coefficients a

Обратная матрица G^{-1}						$X^T.Y_1$	$A = G^{-1}.(X^T.Y_1)$	
0.1111	0	0	0	1.67E-06	1.67E-06	1964	a'_0	218.222
0	0.1667	0	0	0	0	-91	a_1	-15.1667
0	0	0.1667	0	0	0	-124	a_2	-20.6667
0	0	0	0.25	0	0	-44	a_{12}	-11
1.67E-06	0	0	0	0.5	-2.1E-18	11.66	a_{11}	5.83333
1.67E-06	0	0	0	-2.1E-18	0.5	14.66	a_{22}	7.33333

Поскольку в исходной матрице не предусматривались повторные опыты, в настоящей работе дополнительно были выполнены четыре опыта в центральной точке плана (при нулевых уровнях факторов). Полученные значения составили соответственно: 210; 213; 215; 217. При этом дисперсия воспроизводимости $S_в^2$ рассчитана (табл. 5).

Проверку статистической значимости коэффициентов регрессии b выполняли по результатам повторных опытов в центре плана. При числе степеней свободы $f_{ts} = 3$ и уровне значимости $\alpha = 0{,}05$ по таблице распределения Стьюдента получаем t = 3,182. Сравнивая расчётные значения t_i с табличным t: если $|t_i| > t$, то соответствующий коэффициент регрессии является статистически значимым.

Таблица 5 – Проверка статической значимости коэффициентов регрессии
Table 5 – Checking the static significance of regression coefficients

$y_ц$	$\bar{y}_ц$	$(y_ц-\bar{y}_ц)^2$		a'_0	a_1	a_2	a_{12}	a_{11}	a_{22}
210	213.75	14.063		218.22	-15.17	-20.67	-11	5.83	7.33
213		0.563	$S(b_i)^2$	0.991	1.487	1.487	2.23	4.46	4.46
215		1.563	$S(b_i)$	0.995	1.219	1.219	1.493	2.112	2.112
217		10.563	t_i	219.31	-12.44	-16.95	-7.37	2.76	3.47
	$S_в^2$=	8.92							

По результатам, представленным в таблице 5, статистически значимыми являются следующие коэффициенты регрессии: a'_0, a_1, a_2, a_{12}, a_{22}.

Проверка адекватности модели.

Дисперсия остатка $S^2_{ост}$ при N=9, L=5 и по результатам расчёта$(Y_i-\bar{Y})^2$:

$$S^2_{ост} = \frac{\sum_{i=1}^{9}(Y_i-\bar{Y})^2}{N-L} = \frac{172.84}{4} = 43.21.$$

Оценим отношение: $F = \frac{S^2_{ост}}{S^2_в} = \frac{43.21}{8.92} = 4.844.$

По таблице Фишера при уровне значимости $\alpha = 0.05$; $f_1 = 9\text{-}5 = 4$; $f_2 = 4\text{-}1 = 3$, получаем $F_{0.05}(3,4) = 9{,}117$. Сравнение показывает, что $F < F_{0.05}(3,4)$, следовательно, модель является адекватной (соответствует экспериментальным данным).

Значение a_0 вычисляли по a_0 согласно уравнениям [16] имеем $a_0 = 213.33$. Таким образом, экспериментальная регрессионная модель для ударной вязкости Y_1 имеет вид:

$$Y_1 = 213.33 - 15.17x_1 - 20.67x_2 - 11x_{12} + 7.33x_2^2.$$

Построение регрессионной модели микротвердости.

Уравнение регрессии для микротвердости имеет вид:

$$Y_2 = b'_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x'_1 + b_{22}x'_2.$$

Аналогично построению регрессионной модели для ударной вязкости, были рассчитаны коэффициенты регрессии b, приведённые в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет коэффициентов регрессии b / Table 6 – Calculation of regression coefficients b

Обратная матрица G^{-1}						$X^T.Y_2$	$B = G^{-1}.(X^T.Y_2)$	
0.1111	0	0	0	1.67E-06	1.67E-06	2198	b'_0	244.222
0	0.1667	0	0	0	0	73	b_1	12.167
0	0	0.1667	0	0	0	-147	b_2	-24.5
0	0	0	0.25	0	0	-142	b_{12}	-35.5
1.67E-06	0	0	0	0.5	-2.1E-18	-10.34	b_{11}	-5.167
1.67E-06	0	0	0	-2.1E-18	0.5	83.65	b_{22}	41.833

Так же дополнительно были выполнены четыре опыта в центральной точке плана (при нулевых уровнях факторов). Полученные значения составили соответственно: 205; 195; 190; 210. При этом дисперсия воспроизводимости $S_в^2$ рассчитана (табл. 7).

Проверку статистической значимости коэффициентов регрессии b выполняли аналогично проверке статистической значимости для коэффициентов регрессии при построении регрессионной модели ударной вязкости.

Таблица 7 – Проверка статической значимости коэффициентов регрессии
Table 7 – Checking the static significance of regression coefficients

$y_ц$	$\bar{y}_ц$	$(y_ц-\bar{y}_ц)^2$		b'_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
205	200	25		244.22	12.17	-24.5	-35.5	-5.17	41.83
195		25	$S(b_i)^2$	9.26	13.88	13.88	20.83	41.66	41.66
190		100	$S(b_i)$	3.04	3.73	3.73	4.56	6.45	6.45
210		100	t_i	80.34	3.26	-6.57	-7.78	-0.8	6.486
	$S_в^2$=	83.33							

По результатам, представленным в таблице 7, статистически значимыми являются следующие коэффициенты регрессии: b_0', b_1, b_2, b_{12}, b_{22}.

Проверка адекватности модели.

Дисперсия остатка $S^2_{ост}$ при N = 9, L = 5 и по результатам расчёта $(Y_i-\overline{Y})^2$:

$$S^2_{ост} = \frac{\sum_{i=1}^{9}(Y_i-\overline{Y})^2}{N-L} = \frac{1575}{4} = 393.75.$$

Оценим отношение: $F = \frac{S^2_{ост}}{S^2_B} = \frac{393.75}{83.33} = 4.725.$

По таблице Фишера при уровне значимости α = 0.05; f_1 =9-5=4; f_2=4-1=3, получаем $F_{0.05}(3,4)$ = 9.117. Сравнение с расчетного значения критерия Фишера с табличным значением, показывает, что $F < F_{0.05}(3,4)$, следовательно, модель является адекватной (полностью соответствует экспериментальным данным).

Значение b_0 вычисляли по b_0, согласно уравнениям [16] имеем b_0 = 216.333. Таким образом, экспериментальная регрессионная модель для ударной вязкости Y_2 имеет вид:

$$Y_2 = 216.33 + 12.17x_1 - 24.5x_2 - 35.5x_{12} + 41.83x_2^2.$$

Оптимизация параметров термической обработки стали 110Г13Х2БРЛ.

В исследовании для оптимизации процесса термообработки стали 110Г13Х2БРЛ применён метод поверхности отклика (RSM). Поскольку входные параметры x_1 и x_2 одновременно влияют на показатели Y_1 и Y_2, задача представляет собой двухкритериальную оптимизацию режима термообработки и может быть записана в следующем виде:

$$\begin{cases} Y_1 = \text{макс.}\, f_1(x_1^{опт}, x_2^{опт}) \\ Y_2 = \text{макс.}\, f_2(x_1^{опт}, x_2^{опт}) \\ \forall x_1, x_2 \in [-1; 1] \end{cases}$$

В исследовании для расчёта оптимальных параметров использовали метод поверхности отклика (RSM), применяя программное обеспечение Minitab. По результатам оптимизации получены следующие значения кодированных переменных: x_1 = 0,783173, x_2=−1, что соответствует значениям целевых функций Y_1 = 238.07Дж/см^2; Y_2 = 320HV. После перехода к натуральным переменным получено $T^{опт}$=1040 ºС; $т^{опт}$ = 40 мин.

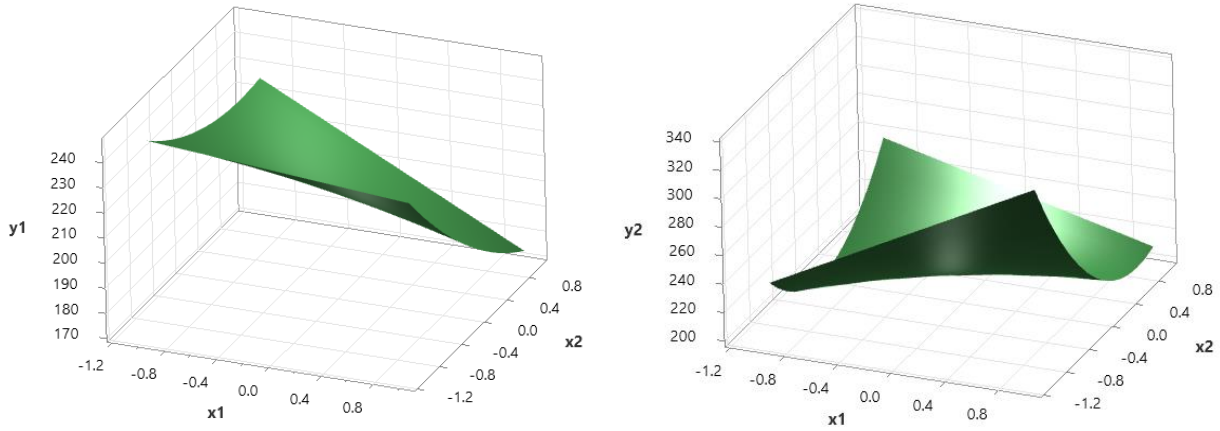


Рисунок 1 – Графики влияния x_1 и x_2 на значения Y_1 (ударная вязкость) и Y_2 (твёрдость)

Figure 1 – Graphs of the influence of x_1 and x_2 on the values of Y_1 (impact strength)and Y_2 (hardness)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты многокритериальной оптимизации процесса термообработки высокомарганцовистой стали 110Г13Х2БРЛ показали, что оптимальными являются температура аустенизации 1039 ºС и время выдержки 40 мин, обеспечивающие наилучшее сочетание механических свойств: ударная вязкость 238 Дж/см² при твёрдости 320HV. Данные значения, полученные расчетным путем, также были подтверждены экспериментально: образцы, термообработанные по оптимальному режиму, показали следующие значения – ударная вязкость (KCU) 235±3 Дж/см^2 при твердости 300±8 НВ. Полученный уровень свойств позволяет рекомендовать указанный оптимальный режим термообработки для промышленного применения при изготовлении деталей из стали 110Г13Х2БРЛ, работающих в условиях высоких ударных нагрузок и интенсивного абразивного износа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ASM metal handbook, volume 01, 1991. Properties and Selection ferrous Alloys and Special-Purpose materials.

2. Нгуен Ш.Х., Иванов С.Г., Гурьев М.А. [и др.] // Влияние параметров термической обработки на структуру и свойства высокоуглеродистых высокомарганцевых сталей. Обзор // Металлург. 2025. № 12. С. 23–28. DOI: 10.52351/00260827_2025_12_23.

3. Valera L.B., Tressia G., Masoumi M., Bortoleto E.M., Regattieri C., Sinatore A. // Roller crushers in iron mining, how does the degradation of Hadfield steel components occur // Engineering Failure Analysis. 2021. 122. doi: 10.1016/j.engfailanal.2021.105295.

4. Zavadil R., Kuyucak S. // Microstructure vs. Impact Toughness Relationship in Hadfield's Austenitic Manganese Steel // Microsc. Microanal. 2002. 8, S02. P. 1290–1291. doi: 10.1017/S1431927602104880.

5. Pham M.K., Nguyen D.N., Le T.C., Hoang T.Q. // Effects ofchromium contentand impact loadon microstructures and propertiesof high manganese steel // Materials Science Forum. 2014. Vol. 804. P. 297–300.

6. Pham M.K., Nguyen D.N., Hoang A.T. // Influence of Vanadium Content on the Microstructure and Mechanical Properties of High-Manganese Steel // International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS. 2018. Vol. 18, № 02. P. 141–147.

7. Tecza G., Garbacz-Klempka A. // Microstructure of Cast High-Manganese Steel Containing Titanium // Archives of Foundry engineering. 2016. Vol.16, Issue 4. P. 163–168. doi: 10.1515/afe-2016-0103.

8. Wahyudi H., Pratiwi S.E., Supriyanto A.A., Bayyu Aji D.P. // The influence of heat rate and austenitization temperature on microstructure and hardness of

Hadfield steel // SINERGI. 2023. Vol.27, № 2. P. 241–248. doi: 10.22441/sinergi.2023.2.012.

9. Jafarian H.R., Sabzi M., Mousavi Anijdan S.H., Eivani A.R., Park N. // The influence of austenitization temperature on microstructural developments, mechanical properties, fracture mode and wear mechanism of Hadfield high manganese steel // Journal of materials research and technology. 2021. 10. P. 819–831.

10. Hosseini S., Limooei M.B. // Optimization of Heat Treatment to Obtain Desired Mechanical Properties of High Carbon Hadfield Steels // World Applied Sciences Journal. 2011. Vol. 15, Issue 10. P. 1421–1424.

11. Higuera-Cobos O.F., Cely-Bautista M.M., Munoz-Bolanos J.A. // Effect of Heat Treatment on the Microstructural Heterogeneity and Abrasive Wear Behavior of ASTM A128 Grade C Steel // Materials. 2024. 17, 2884. doi: 10.3390/ma17122884.

12. S. Ayadi and A. Hadji // Effect of Heat Treatments on the Microstructure and Wear Resistance of a Modified Hadfield Steel // Metallofiz. Noveishie Tekhnol. 2019. 41, № 5. P. 607–620. doi: 10.15407/mfint.41.05.0607.

13. Bandanadjaja B., Hidayat E. // The effect of two-step solution heat treatment on the impact properties of Hadfield austenitic manganese steel // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1450. doi: 10.1088/1742-6596/1450/1/012125.

14. Montgomery, Douglas C. Design and Analysis of Experiments: Response surface method and designs. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc. 2005.

15. Box G.E., Hunter J.S., Hunter W.G. Statictis for Experimenters: Design, Innovation and Discovery. 2nd Edition. 2005.

16. Luu D.B. Thiet kethucnghiemtrong co khi. The construction publisher. Ha Noi. 2017.

17. Nguyen C. Planning experiments, 3th edition. VNUHCMC, Vietnam. 2004. P. 120.

Информация об авторах

Ш. Х. Нгуен – аспирант, *Алтайский государственный технический университет*.

С. А. Гаврилов – аспирант, *Алтайский государственный технический университет*.

М. А. Гурьев – доцент, Алтайский государственный технический университет, Zhejiang Briliant Refrigeration Equipment Co, Ltd, Синчан, Китай.

С. Г. Иванов – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Алтайский государственный технический университет, Инновационный центр современных текстильных технологий (Лаборатория Цзяньху), ведущий научный сотрудник, Шаосин, Китай, Ключевая государственная лаборатория цифрового текстильного оборудования провинции Хубэй, ведущий научный сотрудник, Ухань, Китай.

А. М. Гурьев – доктор технических наук, профессор, Алтайский государственный технический университет, Ключевая государственная лаборатория цифрового текстильного оборудования провинции Хубэй, ведущий научный сотрудник, Ухань, Китай.

Е. А. Письменный – кандидат технических наук, заместитель генерального директора, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», г. Москва, Россия.

Information about the authors

Sh.H. Nguyen - Postgraduate Student, Polzunov Altai State Technical University.

S.A. Gavrilov - Postgraduate student, Polzunov Altai State Technical University.

M.A. Guryev - Associate Professor, Polzunov Altai State Technical University, Zhejiang Brilliant Refrigeration Equipment Co, Ltd, Xingchang, China.

S.G. Ivanov - Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Polzunov Altai State Technical University, Innovative Center for Modern Textile Technologies (Jianhu Laboratory), Senior Researcher, Shaoxing, China, Key State Laboratory of Digital Textile Equipment in Hubei Province, Senior Researcher, Wuhan, China.

A.M. Guryev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Polzunov Altai State Technical University, Key State Laboratory of Digital Textile Equipment in Hubei Province, Leading Researcher, Wuhan, China.

E.A. Pysmennyi - Candidate of Technical Sciences, Deputy General Director, Joint Stock Company "Scientific Research Institute of Railway transport", Moscow, Russia.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 177–181.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 177–181.

Научная статья
2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)
УДК621.78
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.028 EDN:ZITZVM

СРАВНЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СПЛАВОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Юлия Владимировна Шерина [1], Альфия Расимовна Луц [2]

[1] Самарский государственный технический университет, Самара, Россия
[2] Самарский государственный технический университет, Самара, Россия
[1] yulya.makhonina.97@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0002-5451-7107
[2] alya_luts@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7889-9931

Аннотация. *В современном мире наблюдается тенденция развития машиностроения, энергетики, аэрокосмической и автомобильной промышленности, где особое значение приобретает повышение износостойкости, снижение коэффициента трения и увеличение срока службы рабочих узлов и деталей. Технологический прогресс предъявляет все более жесткие требования к материалам, эксплуатируемым в условиях интенсивных механических нагрузок, высоких скоростей и температур. В этом формате использование композиционных материалов, армированных керамическими частицами, становится актуальным благодаря их высокой износостойкости, легкости и возможности формирования необходимых свойств, согласно предъявляемым требованиям. Тем не менее, традиционные сплавы антифрикционного назначения продолжают широко применяться. Именно поэтому для исследования перспективности использования композиционных материалов в узлах трибосопряжений, в первую очередь, необходимо провести сравнение с традиционными сплавами, используемыми в узлах трения, такими как, например, бронзы, баббиты, латуни, а также с алюминиевыми сплавами антифрикционного назначения. В данной научно-исследовательской работе проводится сравнение композиционных материалов АМг2-10%TiC, АМг6-10%TiC, АМ4,5Кд-10%TiC и АК10-М2Н-10%TiC, полученных методом самораспространяющегося синтеза в расплаве, с традиционно применяемыми антифрикционными сплавами БрОЦС 5-5-5, БрАЖ 7-4 (бронзы), Б83 (баббит), АО3-7, АО9-2, АО20-1 (алюминиевые сплавы антифрикционного назначения). После проведения испытаний по определению износостойкости по схеме «кольцо–плоскость» было выявлено, что наименьшая скорость износа на традиционных сплавах наблюдается на образце с БрАЖ 7–4 и составляет 2 мкм/час (коэффициент трения 0,3, температура саморазогрева 70 ºС). В то же время скорость износа всех композиционных материалов не превышает 6,4 мкм/час, а наименьшее значение наблюдается на КМ состава АК10М2Н-10%TiC и составляет 0,5 мкм/час (коэффициент трения 0,09; температура саморазогрева 60 ºС). Таким образом, применение композиционного материала АК10М2Н-10%TiC взамен бронзы БрАЖ 7-4 позволит снизить скорость износа не менее чем в 4 раза, а коэффициент трения – не менее чем в 2 раза.*

Ключевые слова: *алюмоматричные композиционные материалы, карбид титана, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, антифрикционные сплавы, износостойкость, коэффициент трения.*

Благодарности: *автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору Самарского государственного технического университета Ибатуллину Ильдару Дугласовичу за помощь в проведении трибологических испытаний.*

Для цитирования: Шерина Ю. В., Луц А. Р. Сравнение трибологических характеристик композиционных материалов и сплавов триботехнического назначения // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 177–181. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.028. EDN: https://elibrary.ru/ZITZVM.

Original article

COMPARISON OF TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE MATERIALS AND ALLOYS FOR TRIBOTECHNICAL PURPOSE

Yuliya V. Sherina [1], Al'fiya R. Luts [2]

[1] LLC Research and Development Production Enterprise "Valma", Samara, Russia
[2] Samara State Technical University, Samara, Russia
[1] yulya.makhonina.97@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0002-5451-7107
[2] alya_luts@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7889-9931

© Шерина Ю. В., Луц А. Р., 2026

Abstract. *In the modernworld, there is a trend in the development of mechanical engineering, energy, aerospaceandautomotiveindustries,whereincreasing wear resistance, reducing the coefficient of frictionandincreasingtheservice life of workingunitsandparts is of particularimportance. Technologicalprogressimposesincreasinglystringentrequirementsonmaterialsoperatedunderconditions of intensemechanicalloads, highspeedsandtemperatures. Inthisformat, the use of compositematerialsreinforcedwith ceramic particlesbecomesrelevantdue to theirhigh wear resistance, lightness, and the ability to form the necessarypropertiesaccording to the requirements. Nevertheless, traditionalantifrictionalloyscontinue to be widelyused. That is why, in order tostudy the prospects of using composite materialsintribo-coupling units, first of all, it is necessarytocompare them withtraditionalalloysusedinfrictionunits, suchas, for example, bronzes, babbits, brass, aswell as aluminumalloys for antifrictionpurposes. Inthisresearchpaper, compositematerials AMg2-10%TiC, AMg6-10%TiC,AM4.5Kd-10%TiCandAK10-M2H-10%TiCobtainedbyself-propagatingfusionin a meltarecomparedwith the traditionallyusedantifrictionalloysBrOCC5-5-5,BRAZH7-4(bronze), B83(babbit), AO3-7, AO9-2, AO20-1 (aluminumalloys for antifrictionpurposes). Afterconductingteststodeterminewearresistanceaccording to the "ring-plane" scheme, it wasfoundthat the lowestwearrateontraditionalalloys is observedon a samplewith a thickness of7-4andis2microns/hour (coefficient of friction 0.3, self-heatingtemperature 70°C). At the sametime, the wearrate of allcompositematerials does notexceed6.4microns/hour, and the lowestvalue is observedper KM of AK10M2H composition-10%TiCandis0.5microns/hour (coefficient of friction0.09; self-heatingtemperature60°C). Thus, the use of AK10M2H-10%TiCcompositematerialinstead of BRAZH 7-4bronzewillreduce the wearrate by at least4times, and the coefficient of friction by at least2times.*

Keywords: *aluminomatrix composite materials, titanium carbide, self-propagating high-temperature synthesis, antifriction alloys, wear resistance, friction factor*

Acknowledgements: aluminum matrix compositematerials, titaniumcarbide, self-propagating high-temperaturesynthesis, antifrictionalloys, wear resistance, coefficientof friction

For citation: Sherina, Yu. V., Luts, A. R. (2026). Comprasion of tribological characteristics of composite materials amd alloys for tribotechnical purpose. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 177-181. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.028. EDN: https: //elibrary.ru/ZITZVM.

ВВЕДЕНИЕ

Композиционные материалы на основе промышленных алюминиевых сплавов обладают высокой прочностью, износостойкостью, малым удельным весом и доступной ценой, что делает их перспективными материалами. В аэрокосмической отрасли АМКМ используют для изготовления лопастей вентиляторов, осей роторов, труб и крышек корпусов самолетов Boeing 777. В автомобильной промышленности из них производят тормозные барабаны и диски, шатуны, гильзы цилиндров, головки блока цилиндров и коленчатого вала, поршни [1].

Невысокая стоимость и доступность АМКМ, а также возможность применения стандартного оборудования и традиционных технологий для формирования заданного состава, способствуют ускорению процесса внедрения таких материалов в области машиностроения [2, 3]. Алюминиевая матрица с добавлением твердых керамических частиц обладает высокой термической стабильностью, что делает перспективным использование КМ на основе алюминиевой матрицы в триботехнике [4], особенно это актуально для композитов, дисперсно армированных карбидными фазами. Так, в работе [5] приводится пример успешного применения АМКМ составов АЛ-25%SiC и АК12-5%SiC-5%C в качестве втулок подшипников скольжения и показано преимущество использования пары трения «композит–сталь» перед парой «бронза–сталь». Также в результате замены материала достигается увеличение срока службы изделия сверх предусмотренных техническими условиями 10000 циклов до 15000 циклов работы, что составляет 40 %. При этом компрессоры с рабочей парой, в состав которой входит КМ, на протяжении всего срока службы сохраняют характеристики, заложенные технической документацией.

Подчеркнем, что снижению массы триботехнических устройств в современной технике уделяется особое внимание, в связи с чем разрабатываются триботехнические композиционные материалы на основе матрицы даже более легкого, чем алюминий металла – магния и его сплавов [6]. В публикации [7] исследовано поведение композитов на основе промышленных сплавов марок АМг1, АК12, АК12М2МгН, армированных 5% SiC, и выявлено, что задиростойкость и износостойкость у композитов существенно превосходила аналогичные характеристики матричной основы. В этой же работе показано, что армирование карбидом титана приводит к падению интенсивности изнашивания и коэффициента трения.

В работе [8] установлено, что армирование карбидом кремния промышленного сплава АК12М2МгН приводит к повышению износостойкости в 10 раз, а также снижению коэффициента линейного термического расширения, что позволяет прогнозировать повышение термостабильности. В исследовании [9] показано, что армирование этой же основы 10 масс.% карбида титана приводит к снижению значения коэффициента трения с 1,09 до 0,82, а также понижению интенсивности изнашивания практически в 2 раза.

В работе [10] показано, что армирование промышленных алюминиевых сплавов АМг2, АМг6, АМ4,5Кд и АК10М2Н 10 масс.% высокодисперсным карбидом титана, синтезированным с использованием метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, позволяет повысить износостойкость не менее чем в 5 раз, а коэффициент трения – не менее чем в 3 раза, по сравнению с матричными сплавами. Однако сравнение с традиционными антифрикционными сплавами в данной работе не проведено.

Таким образом, целью данного исследования является сравнение трибологических характеристик композиционных материалов и сплавов триботехнического назначения.

МЕТОДЫ

Для получения композиционных материалов в качестве матрицы использовались промышленные алюминиевые сплавы марок АМг2 (ГОСТ 4784-97), АМг6 (ГОСТ 4784-97), АМ4,5Кд (ГОСТ 1583-93) и АК10М2Н (ГОСТ 30620-98). Композиционный материал получали по технологии, приведенной в работе [11], в качестве шихтовых компонентов использо-

вали порошок титана марки ТПП-7 (ТУ 1715-449-05785388), углерод технический П701 (ГОСТ 7885-86) и галоидную соль N_2TiF_6 (CAS 17116-13-1). Для сравнения были выбраны материалы, наиболее часто применимые в трибосопряжениях, а именно: бронза марки БрАЖ7-4 (ГОСТ 18175-78) и БрОЦС 5-5-5 (ГОСТ 613-79), баббит марки Б83 (ГОСТ 1320-74), алюминиевые антифрикционные сплавы АО3-7, АО9-2, АО20-1 (ГОСТ 14113-78).

Триботехнические испытания проводили на универсальном триботехническом комплексе «Универсал-1Б» (далее трибометр) по схеме испытаний «кольцо–плоскость»; вид трения – граничное трение скольжения; материал контртела – сталь 40Х, закалка HRC 40…45; среда – синтетическое моторное масло Shell; нормальная нагрузка на контакт – 400 Н; частота вращения контртела – 600 об/мин (средняя линейная скорость в зоне контакта 0,157 м/с); длительность испытаний – 30 минут (или до появления первых признаков схватывания). По результатам испытаний оценивали линейный износ образцов с помощью индикатора часового типа с ценой деления 1 мкм и пересчитывали результат в скорость изнашивания (мкм/час)

РЕЗУЛЬТАТЫ

С целью сравнения характеристик в тех же условиях были проведены трибологические испытания промышленных антифрикционных сплавов на основе алюминия, олова и меди. На рисунке 1 приведены эпюры трибологических испытаний, а также поверхности износа антифрикционных сплавов БрАЖ7-1, БрОЦС5-5-5, Б83, АО3-7, АО9-2, АО20-1 и композиционных материалов АМг2-10%TiC, АМг5-10%TiC, АМ4,5Кд-10%TiC, АК10М2Н-10%TiC.

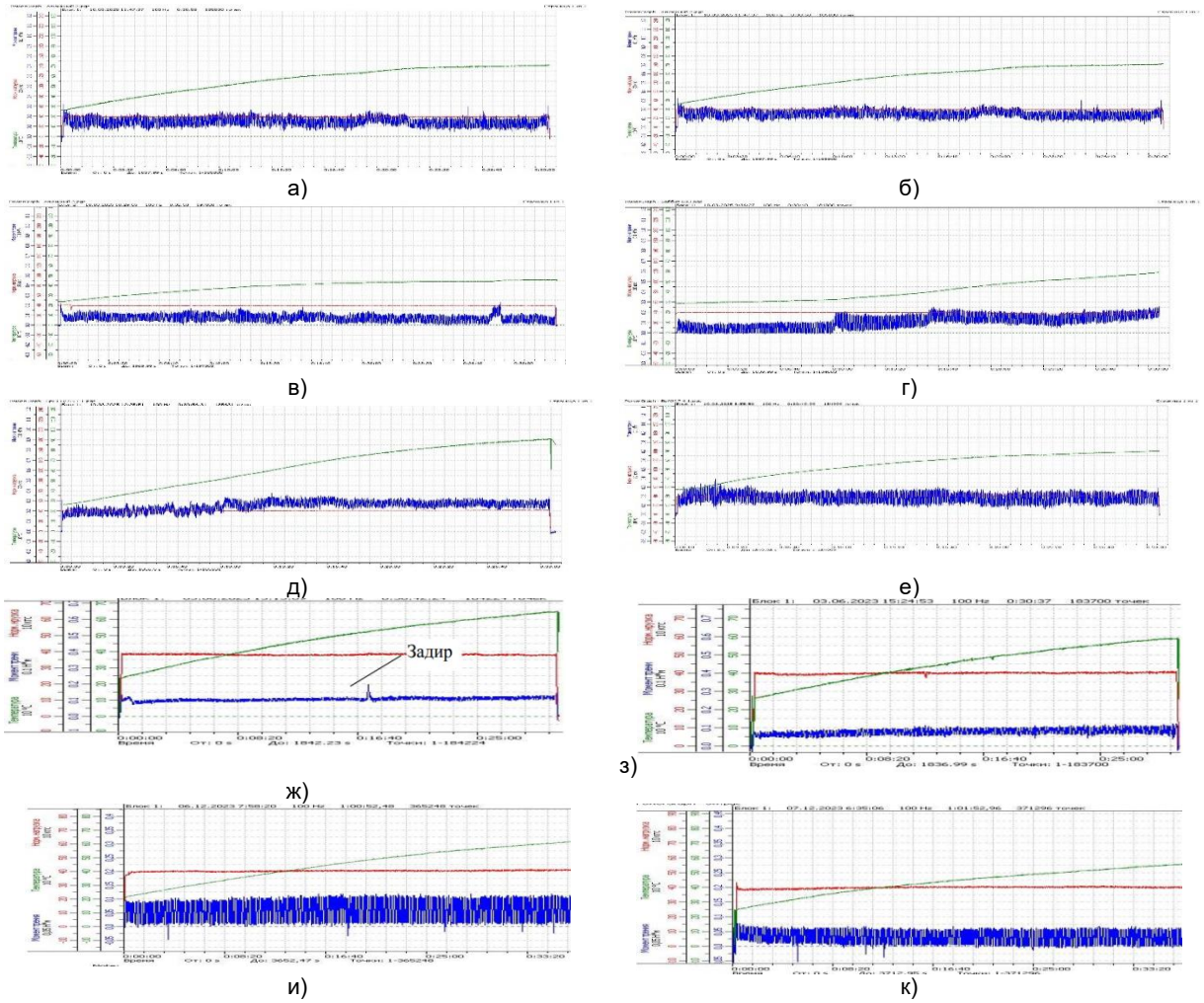


Рисунок 1 – Эпюры триботехнических ипытаний: а) АО3-7; б) АО9-2; в) АО20-1; г) Б83; д) БрОЦС 5-5-5; е) БрАЖ 7-4; ж) АМг2-10%TiC; з) АМг6-10%TiC; и) АМ4,5Кд-10%TiC; к) АК10М2Н-10%TiC

Figure 1 – Tribological test diagrams: a) AO3-7; b) AO9-2; c) AO20-1; d) B83; d) BrOTsS 5-5-5; e) BrAZh 7-4; g) AMg2-10%TiC; h) AMg6-10%TiC; i) AM4.5Kd-10%TiC; k) AK10M2N-10%TiC

В таблице 1 приведены результаты трибологических испытаний антифрикционных сплавов БрАЖ7-1, БрОЦС5-5-5, Б83, АО3-7, АО9-2, АО20-1 и композиционных материалов АМг2-10%TiC, АМг5-10%TiC, АМ4,5Кд-10%TiC, АК10М2Н-10%TiC.

Таблица 1 – Трибологические свойства антифрикционных сплавов и композиционных материалов

Table 1 – Tribological properties of antifriction alloys and composite materials

Образец	Скорость изнашивания, мкм/час	Коэффициент трения	Температура саморазогрева, °С
Промышленные антифрикционные сплавы			
АО3-7	126	–	–
АО9-2	68	0,16 (задиры)	72
АО20-1	30	0,05	44
Баббит Б83	536	0,21	59
БрОЦС 5-5-5	50	0,3	92
БрАЖ 7-4	2	0,18	70
Разработанные композиционные материалы			
АМг2-10%TiC	6,4	0,11	65
АМг6-10%TiC	3,5	0,08	59
АМ4,5Кд-10%TiC	5,25	0,08	67
АК10М2Н-10%TiC	0,5	0,09	60

ОБСУЖДЕНИЕ

На поверхностях трения всех испытанных образцов антифрикционных промышленных сплавов, кроме бронзы марки БрАЖ 7-4 (рис. 1, *а–д*) наблюдались выраженные следы абразивного изнашивания (борозды в направлении трения). Данный вид изнашивания характеризуется нестабильным и высоким коэффициентом трения, а также высокой скоростью изнашивания (табл. 1), и поэтому недопустим в проектируемых узлах трения.

Среди алюминиевых сплавов наилучшие триботехнические свойства показал сплав АО20-1: небольшой коэффициент трения, склонность к приработке (рис. 1, *в*) и невысокая температура саморазогрева (табл. 1). Данный образец показал минимальный износ среди алюминиевых сплавов, но все же он недостаточно низок для создания надежных пар трения и требует более щадящих условий эксплуатации.

Баббит Б83 – пластичный антифрикционный материал – вначале показал характерный низкий коэффициент трения (табл. 1), затем трение начало ступенчато расти (рис. 1, *г*) в связи с появлением в зоне трения абразивных частиц. Вслед за моментом трения начался рост температуры в зоне трения. Даже в условиях сильного абразивного изнашивания баббит показывал приемлемый момент трения, но высокий износ делает использование этого материала нерациональным в данных условиях.

Наилучший результат показал образец бронзы БрАЖ 7-4. Минимальный износ при приемлемых антифрикционных свойствах делают этот материал применимым для изготовления тяжелонагруженных пар трения (табл. 1).

На композиционном материале АМг2-10%TiC наблюдается задир (рис. 1, *ж*), что говорит о невозможности применения материала при данной нагрузке, однако скорость изнашивания и коэффициент трения (табл. 1) значительно ниже, чем у антифрикционных сплавов (кроме АО20-1 и БрАЖ 7-4), что связано с наличием твердых частиц карбида титана.

Композиционный материал АМг6-10%TiC ввиду большей добавки магния более твердый, что обеспечивает не только отсутствие задиров (рис. 1, *з*), но также снижение скорости износа практически в 2 раза и значительное уменьшение коэффициента трения (табл. 1).

АМКМ АМ4,5Кд характеризуется хорошей приработываемостью и отсутствием на эпюре трения задиров (рис. 1, *и*), также отмечаются невысокая скорость износа и коэффициент трения (табл. 1), что говорит о возможности применения в рассматриваемом узле трения. Следует отметить, что по результатам исследований, проведенных в работе [12] выявлено, что данный материал имеет значительно лучшие трибологические свойства после проведения термической обработки.

Композиционный материал АК10М2Н-10%TiC, среди исследуемых разработанных автором [10] композитов, обладает наилучшими трибологическими характеристиками (табл. 1). Следует особенно отметить, что скорость износа КМ АК10М2Н-10%TiC значительно меньше скорости износа БрАЖ 7-4, также отмечается и более низкий коэффициент трения. Данный факт позволяет рекомендовать КМ АК10М2Н-10%TiC даже без термической обработки в качестве замены дорогостоящей и большей по плотности бронзы БрАЖ 7-4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что армирование промышленных алюминиевых сплавов высокодисперсными частицами карбида титана, синтезированных при помощи метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в расплаве, позволяет обеспечить трибологические характеристики на уровне, а в большинстве случаев – лучше, с антифрикционными сплавами, такими как бронзы, баббиты и алюминиевые антифрикционные сплавы сери АО, что позволяет рекомендовать разработанные композиционные материалы в качестве перспективных для замены бронз и баббитов в узлах трибосопряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wetting and reaction characteristics o Al_2O_3/SiC composite refractoriesby molten aluinium and aluminium alloy / J. Xu [et al.] // International Journal of Applied Ceramic Technology. 2007. №4. P. 514–523. DOI: 10.1111/j.1744-402.2007.02177.x.

2. Технологическое освоение композиционного материала системы Al-SiC / Л.Р. Вишняков [и др.] // Технология легких сплавов. 1996. № 3. С. 64–69.

3. Курганова Ю.А. Перспективы развития металломатричных композиционных материалов промышленного назначения // Сервис в России и за рубежом. 2012. № 3. С. 235–240.

4. Kumar N.M. High temperature investigation on EDM process of Al2618 alloy reinforced with Si_3N_4, ALN and ZrB_2 in-situ composites // Journal of Alloys and Compounds. 2016. № 663. P. 755–768. DOI: 10.1016/ j.jallcom.2015.12.175.

5. Курганова Ю.А. Разработка и применение дисперсно упрочненных алюмоматричных композиционных материалов в машиностроении: дис. … д-ра техн. наук.

Москва, 2008. 285 с.

6. Ковтунов А.И. Применение композиционных материалов с магниевой матрицей для подшипников скольжения // Перспективные материалы. 2022. № 6. С. 66–70. DOI: 10.30791/1028-978X-2022-6-66-70.

7. Калашников И.Е. Развитие методов армирования и модифицирования структуры алюмоматричных композиционных материалов: дис. … д-ра техн. наук. Москва, 2011. 428 с.

8. Миронова Е.В. Литые композиционные материалы на основе алюминиевого сплава для автомобилестроения // Киев : Cyberlinka. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/litye-kompozitsionnye-materialy-na-osnove-alyuminievogo-splava-dlya-avtomobilestroeniya (дата обращения: 29.08.2025).

9. Михеев Р.С. Разработка износостойких дисперсно-наполненных композиционных материалов и покрытий из них: дис. ... канд. техн. наук. Москва. 2010. 202 с.

10. Шерина Ю.В. Влияние армирования высокодисперсной фазой карбида титана, синтезированной в расплаве, и термообработки на структуру и свойства промышленных алюминиевых сплавов: дисс. … канд. техн. наук. Самара. 2024. 207 с.

11. Жидкофазное получение методом СВС и термическая обработка композитов на основе алюминиево-магниевых сплавов, упрочненных высокодисперсной фазой карбида титана / А.Р. Луц [и др.] // Известия вузов. Цветная металлургия. 2023. № 4. С. 70–86. DOI: 10.17073/0021-3438-2023-4-70-86.

12. Шерина Ю.В. СВС-армирование промышленных алюминиевых сплавов высокодисперсной фазой карбида титана : монография / Ю.В. Шерина, А.Р. Луц. Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2025. 151 с. ISBN 978-5-7964-2484-1.

Информация об авторах

Ю. В. Шерина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» Самарского государственного технического университета.

А. Р. Луц – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» Самарского государственного технического университета.

REFERENCES

1. Xu, J. [et al.]. (2007). Wetting and reaction characteristics o Al_2O_3/SiC composite refractoriesby molten aluinium and aluminium alloy. International Journal of Applied Ceramic Technology. (4). P. 514-523. DOI: 10.1111/j.1744-402.2007.02177.x.

2. Vishnyakov, L.R. [et al.]. (1996). Technologica ldevelopment of the composite material of the Al-SiC system. Technology of lightalloys.1996. No.3. P. 64-69. (In Russ.).

3. Kurganova, Yu.A. (2012). Prospects for the development of metal matrix composite materials for industrialuse // Servicein Russia and abroad. 2012. (3). P. 235-240. (In Russ.)

4. Kumar, N.M. (2016). High temperature investigation on EDM process of Al2618 alloy reinforced with Si_3N_4, ALN and ZrB_2 in-situ composites. Journal of Alloys and Compounds. 2016. (663). P. 755-768. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.12.175.

5. Kurganova, Yu.A. (2008). Development and application of dispersed hardened aluminum matrix composite materials in mechanical engineering. Extended abstract of Doctor's thesis. Moscow. (In Russ.).

6. Kovtunov, A.I. (2022). Application of composite materials with a magnesium matrix for sliding bearings // Promising materials. 2022. (6). P. 66-70. (In Russ.). DOI: 10.30791/1028-978X-2022-6-66-70.

7. Kalashnikov, I.E. (2011). Development of methods of reinforcement and modification of the structure of aluminum- matrix composite materials. Extended abstract of Doctor's thesis. Moscow. (In Russ.).

8. Mironova, E.V. (2006). Cast Aluminum alloy composite materials for the auto motive industry. Retrievedfromhttp://cyberleninka.ru/article/n/litye-kompozitsionnye-materialy-na-osnove-alyuminievogo-splava-dlya-avtomobilestroeniya. (In Russ.).

9. Mixeev, R.S. (2010). Development of wear- resistantdis persed-filled composite materials and coatings from them. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow. (In Russ.).

10. Sherina, Yu.V. (2024). The effect of reinforcement with a highly dispersed phase of titanium carbidesynthesizedin a meltandheat treatment on the structure and properties of industrial aluminum alloys. Extended abstract of candidate's thesis. Samara. (In Russ.).

11. Liquid-phase production by the SHS method and heattreatment of composites based on aluminum-magnesium alloys reinforced with a highly dispersed titanium carbide hase/ A.R. Lucz [и др.] // Izvestiya vuzov. Non-ferrous metallurgy. 2023. (4). P. 70-86. (In Russ.). DOI: 10.17073/0021-3438-2023-4-70-86.

12. Sherina, Yu.V. (2025). SHS-reinforcement of industrial aluminum alloys with a highly dispersed titanium carbide phase: monograph. Samara: Samara State Technical University. ISBN 978-5-7964-2484-1.

Information about the authors

Yu.V. Sherina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Metallology, Powder Metallurgy, Nanomaterials», Samara State Technical University.

A.R. Lutz - Candidate of Technical Sciences, Associate Professorof the Department of «Metallology, Powder Metallurgy, Nanomaterials», Samara State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 182–189.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 182–189.

Научная статья
2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 676.168
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.029 EDN:MHJMJO

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Евгений Алексеевич Топтунов [1], Юлия Вениаминовна Севастьянова [2], Алексей Валерьевич Малков [3]

[1, 2, 3] Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия
[1] zhenyatope@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-8441-788X
[2] J.Sevastyanova@narfu.ru, https://orcid.org/0000-0002-1806-9052
[3] a.malkov@narfu.ru, https://orcid.org/0000-0003-0555-9201

Аннотация. *Статья посвящена вопросу изучения влияния особенностей различных волокнистых полуфабрикатов на процесс их переработки в порошковые целлюлозные материалы. В качестве волокнистых полуфабрикатов рассматриваются товарные образцы беленой хвойной сульфатной и сульфитной, а также беленой лиственной сульфатной целлюлозы. Оценивается влияние как компонентного состава волокнистых полуфабрикатов, так и способ их получения, и структурно-морфологические характеристики. В статье оценено влияние данных особенностей на свойства порошковой целлюлозы, получаемой методом сухого размола, а также на свойства микрокристаллической целлюлозы, полученной методом гидролитической деструкции. Оценивалось влияние способа получения полуфабриката и продолжительности сухого размола на свойства получаемого продукта (размер частиц, насыпная плотность, степень полимеризации). Было определено, что наиболее эффективно сухой размол проходит в течение 60 минут, однако, при использовании сухого размола в качестве ступени предобработки перед гидролизом продолжительность размола может быть сокращена до 30 минут. Полученные порошковые целлюлозы были подвергнуты кислотному гидролизу с использованием серной и лимонной кислот. Для оценки влияния вида исходного сырья на свойства получаемого продукта гидролиз проводился при различных концентрациях кислоты (2, 6 и 10 %) и различной продолжительности обработки (10, 20, 30, 60, 120 минут). По результатам эксперимента установлено, что наиболее эффективным режимом гидролиза является обработка при температуре 80 °С, концентрации кислоты 10 % и продолжительности 60 минут. Для образцов, полученных по данному режиму, был проведен сравнительный анализ на основании требований к микрокристаллической целлюлозе. По результатам проведенного исследования были выявлены особенности технологии получения порошковой и микрокристаллической целлюлозы из различных полуфабрикатов.*

Ключевые слова: *порошковые целлюлозные материалы, микрокристаллическая целлюлоза, гидролиз, волокнистые полуфабрикаты, степень полимеризации.*

Для цитирования: Топтунов Е. А., Севастьянова Ю. В., Малков А. В. Особенности переработки волокнистых полуфабрикатов для получения порошковых целлюлозных материалов // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 182–189. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.029. EDN: https://elibrary.ru/MHJMJO.

Original article

FEATURES OF PROCESSING FIBROUS SEMI-FINISHED PRODUCTS TO PRODUCE POWDERED CELLULOSE MATERIALS

Evgeniy Alekseevich Toptunov [1], Yulia Veniaminovna Sevastyanova [2], Alexey Valerievich Malkov [3]

[1, 2, 3] Northern (Arctic) federal university, Arkhangelsk, Russia
[1] zhenyatope@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-8441-788X
[2] J.Sevastyanova@narfu.ru, https://orcid.org/0000-0002-1806-9052
[3] a.malkov@narfu.ru, https://orcid.org/0000-0003-0555-9201

Abstract. *The article is devoted to the issue of studying the influence of various fibrous semi-finished products on the process of their processing into powder cellulose materials. Commercial samples of bleached coniferous sulfate and sulfite, as well as bleached hard-wood sulfate cellulose are considered as fibrous semi-finished products. The influence of both the component composition of fibrous semi-finished products and the method of their production, as well as*

© Топтунов Е. А., Севастьянова Ю. В., Малков А. В., 2026

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

structural and morphological characteristics, is estimated. The article evaluates the influence of these features on the properties of powder cellulose obtained by dry grinding, as well as on the properties of microcrystalline cellulose obtained by hydrolytic destruction. The influence of the method of obtaining a semi-finished product and the duration of dry grinding on the properties of the resulting product (particle size, bulk density, degree of polymerization) was estimated. It was determined that dry milling is most effective for 60 minutes, but when using dry milling as a pretreatment step before hydrolysis, the milling time can be reduced to 30 minutes. The resulting powdered celluloses were subjected to acid hydrolysis using sulfuric and citric acids. To assess the effect of the type of raw material on the properties of the resulting product, hydrolysis was carried out at different acid concentrations (2, 6, and 10%) and different processing times (10, 20, 30, 60, 120 minutes). Based on the experiment results, it was found that the most effective hydrolysis mode is processing at a temperature of 80 °C, an acid concentration of 10%, and a duration of 60 minutes. A comparative analysis was carried out for the samples obtained using this mode based on the requirements for microcrystalline cellulose. Based on the results of the study, the features of the technology for obtaining powder and microcrystalline cellulose from various semi-finished products were identified.

Keywords: *powdered cellulosic materials, microcrystalline cellulose, hydrolysis, fibrous semi-finished products, degree of polymerization.*

For citation: Toptunov, E. A., Sevastyanova, Y. V., Malkov, A. V. (2026). Features of processing fibrous semi-finished products to produce powdered cellulose materials. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 182-189. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.029. EDN: https: //elibrary.ru/MHJMJO.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время целлюлозно-бумажная промышленность активно развивается как с точки зрения получения новых продуктов, так и с точки зрения расширения сырьевой базы и модернизации существующих производств [1, 2]. Наряду с производством продукции для печати и тароупаковки все больше исследуется получение различных продуктов с более высокой добавленной стоимостью. К ним можно отнести продукты деструкции целлюлозы (порошковая, микро- и наноцеллюлоза) и целлюлозу для химической переработки [3–5]. Одним из наиболее исследуемых продуктов является микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ). Это обуславливается потребностью рынка, связанной с тем, что в России, по сути, отсутствует собственное производство МКЦ и потребность в данном продукте закрывается преимущественно импортом.

Микрокристаллическая целлюлоза – представляет собой продукт деструкции целлюлозы, получаемый преимущественно гидролизом с использованием неорганических кислот. Помимо этого, она может быть получена путем механической, ферментативной или комбинированной обработки из различного целлюлозного сырья как растительного, так и бактериального происхождения [6–10]. Она имеет форму белого порошка без вкуса и запаха и отличается низкой степенью полимеризации (менее 350) [11, 12]. Основной отраслью, в которой используется МКЦ, является фармацевтическая промышленность, однако наряду с этим она находит применение в косметической, пищевой, строительной, целлюлозно-бумажной, химической и прочих отраслях промышленности [13–15].

Основным источником сырья для получения МКЦ остается товарная беленая целлюлоза. Известно, что в зависимости от вида исходного сырья, особенностей способов варки древесины и дальнейшей отбелки целлюлозы может изменяться содержание основных компонентов в волокнистом полуфабрикате [16]. Основными ключевыми компонентами, содержащимися в древесине, являются непосредственно целлюлоза, гемицеллюлозы, лигнин, экстрактивные вещества и неорганические компоненты (зола) [14, 17]. Поскольку содержание этих компонентов в технической целлюлозе различается в зависимости от исходного сырья и способа получения, можно предположить, что оно также будет оказывать влияние на процессы деструкции с получением порошковой и микрокристаллической целлюлозы. Так, например, основываясь на различных литературных данных, можно предположить, что более высокое содержание альфа-целлюлозы будет оказывать положительное влияние на чистоту конечного продукта. Содержание сопутствующих веществ – лигнина, гемицеллюлоз, низкомолекулярных компонентов и экстрактивных веществ будет оказывать влияние на способность технической целлюлозы взаимодействовать с кислотой. При повышенном содержании гемицеллюлоз, например, часть кислоты будет расходоваться сначала на их гидролиз, что будет оказывать эффект на свойства конечного продукта [18–20].

Так как в литературных источниках недостаточно информации о том, каким образом на процесс дальнейшей переработки целлюлозы влияют ее изначальные характеристики (порода древесины и компонентный состав, способ варки), актуальным становится вопрос оценки влияния этих факторов на свойства порошковой и микрокристаллической целлюлозы.

Целью работы стало исследование влияния структурно-морфологических и компонентных характеристик исходного сырья на свойства получаемых продуктов переработки – порошковой и микрокристаллической целлюлозы.

МЕТОДЫ

В качестве исходного сырья для получения порошковой и микрокристаллической целлюлозы использовались образцы товарной беленой целлюлозы из хвойных пород, полученных сульфатным (ГОСТ 9571-89) и сульфитным способом варки (ГОСТ 3914-89), а также образцы товарной беленой сульфатной лиственной целлюлозы (ГОСТ 28172-89).

Определение компонентного состава образцов целлюлозы осуществляли путем оценки содержания α-целлюлозы, лигнина, экстрактивных веществ, золы. Содержание гемицеллюлоз и низкомолекулярных компонентов определялось исходя из суммарного содержания всех компонентов, которое не может превышать 100 %.

Получение порошковой целлюлозы осуществляли путем сухого размола технической целлюлозы на планетарной шаровой мельнице PM 400 (Retsch). В качестве размалывающих элементов использовались шарики из нержавеющей стали, в один размольный стакан (250 мл) загружалось 24 размалывающих элемента (диаметр 1 шарика – 10 мм, масса – 3,9 г.). Навеска целлюлозы составляла 5 г.а.с.ц. Размол проводился при скорости вращения 400 оборотов в минуту.

Определение структурно-морфологических характеристик целлюлозных материалов осуществляли с использованием анализатора Fiber Tester согласно ISO 16065-2:2014.

Основная стадия кислотной деструкции целлюлозы осуществлялась путем гидролиза с использованием ротационного испарителя Heidolph Hei-VAP Advantage (марка: ML/G3B, страна-производитель: Германия). Для управления процессом варьировали концентрацию кислоты и продолжительность обработки.

Определение насыпной плотности полученных образцов порошковых целлюлозных материалов осуществлялось путем измерения массы навески целлюлозного материала, распределенного в известном объеме без уплотнения.

Фракционный анализ распределения частиц по размерам проводили путем просеивания навески микрокристаллической целлюлозы через сита с разного размера с использованием вибрационной установки (просеивающая машина Restch AS 200). Для распределения частиц использовали сита со следующими диаметрами отверстий: 1 мм, 500 мкм, 250 мкм, 125 мкм, 71 мкм, 63 мкм, 45 мкм. Также оценивали остаток на поддоне.

Определение средней степени полимеризации, полученных образцов целлюлозы проводили согласно ГОСТ 25438-82. Сущность метода заключается в растворении навески целлюлозы в растворе кадоксена с последующим термостатированием и определением скорости истечения полученного раствора (вискозиметрический способ). Степень кристалличности определена по методу Сегала для полученных образцов в виде таблетки диаметром 25 мм и толщиной 0,9…1,05 мм на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000 S [21].

Определение остатка после прокаливания проводили согласно ГОСТ Р ИСО 1762-2013. Определение содержания веществ, растворимых в воде и в эфире, проводили в соответствии с фармакопейным стандартом «Целлюлоза микрокристаллическая».

Для определения удельной электропроводности водной вытяжки смесь из навески испытуемого образца (5,0 г.) и 40 мл воды, свободной от диоксида углерода, встряхивали в колбе в течение 20 минут. Полученную смесь центрифугировали и отбирали для проведения испытания супернатант. Определение удельной электропроводности водной вытяжки проводили с использованием лабораторного кондуктометра (Эксперт 002). Отдельно измеряли удельную электропроводность воды, используемой для приготовления раствора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе эксперимента проводился сравнительный анализ исходных товарных образцов целлюлозы с точки зрения их компонентного состава и структурно-морфологических характеристик волокон. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Компонентный состав и структурно-морфологические характеристики волокон образцов товарной целлюлозы

Table 1 – Component composition and structural and morphological characteristics of fibers of cellulose samples

Наименование образца целлюлозы	Компонентный состав, %					Структурно-морфологические характеристики волокна			Степень полимеризации
	α-Целлюлоза	Гемицеллюлозы и низкомолекулярные соединения	Лигнин	Экстрактивные вещества	Неорганические компоненты	Средняя длина, мм	Средняя ширина, мкм	Фактор формы, %	
Товарная беленая сульфитная хвойная	94,15	3,98	1,13	0,52	0,22	1,967	27,4	76,6	940
Товарная беленая сульфатная хвойная	89,88	8,97	0,80	0,19	0,16	2,243	26,9	82,5	850
Товарная беленая сульфатная лиственная	87,12	11,07	1,26	0,26	0,29	0,888	21,2	89,8	1560

На основании данных, представленных в таблице 1, было отмечено, что наибольшим содержанием α-целлюлозы отличается сульфитная целлюлоза, это может быть обусловлено кислой природой варки, оказывающей селективное действие на лигнин и в меньшей степени разрушающее целлюлозу и гемицеллюлозы. На содержание остальных компонентов также существенное влияние оказывает способ варки. Например, при сульфатной варке хвойной целлюлозы содержание остаточного лигнина в полуфабрикате оказывается меньше, чем при сульфитной варке, поскольку белый щелок, содержит в себе Na_2S, замедляющий обратную конденсацию лигнина.

Целлюлоза, полученная из хвойных пород древесины, отличается большей длиной волокон, что связано с природой сырья (длинные трахеиды). Образец товарной сульфатной целлюлозы из лиственных пород древесины отличается более высокой степенью полимеризации, что может быть обусловлено повышенным содержанием гемицеллюлоз, которые также могут растворяться в кадоксене и оказывать влияние на вязкость пробы. Можно предположить, что образцы хвойной целлюлозы будут в меньшей степени подвергаться деструкции при механической обработке, однако будут более эффективно подвергаться гидролизу по сравнению с лиственной целлюлозой (ввиду меньшего содержания примесей и более низкой начальной степени полимеризации.

Образцы целлюлозы размалывались на планетарной шаровой мельнице в течение 30, 60 и 120 минут.

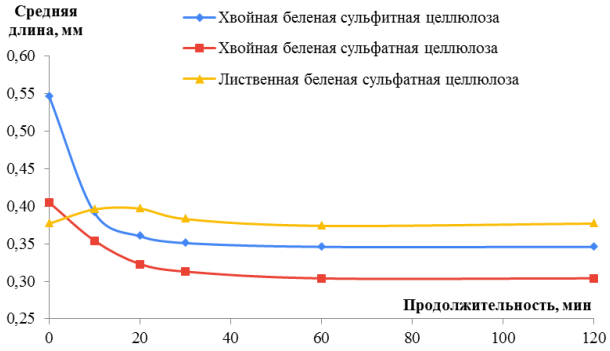
Таблица 2 – Оценка влияния продолжительности сухого размола на характеристики порошковой целлюлозы

Table 2 – Evaluation of the influence of dry milling duration on the characteristics of powdered cellulose

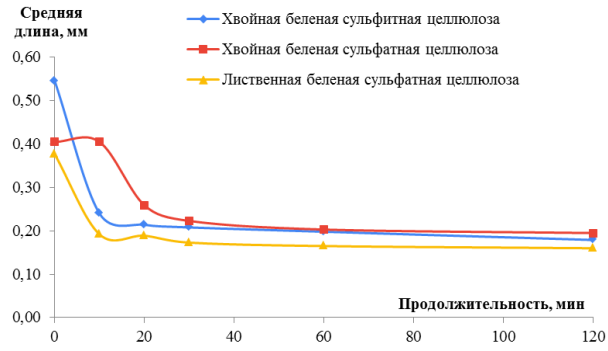
Наименование образца целлюлозы	Продолжительность размола, мин	Средняя длина, мм	Насыпная плотность, кг/м^3	Средняя степень полимеризации
Хвойная беленая сульфитная	30	0,546	280	610
	60	0,296	360	490
	120	0,281	435	260
Хвойная беленая сульфатная	30	0,405	180	630
	60	0,389	250	550
	120	0,262	345	400
Лиственная беленая сульфатная	30	0,377	150	510
	60	0,351	230	290
	120	0,234	270	270

Оценивалось изменение средней длины волокон, средней степени полимеризации и насыпной плотности. Результаты эксперимента приведены в таблице 2.

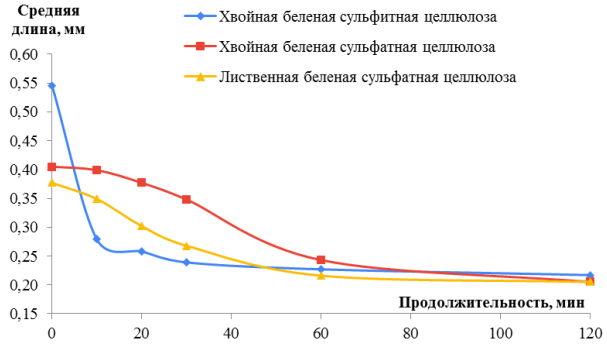
На основании данных, представленных в таблице 2, можно отметить, что наиболее интенсивное измельчение волокна происходит за первые 30 минут размола, снижение средней длины в таком случае составляет 72,24 % для хвойной сульфитной целлюлозы, 81,94 % – для хвойной сульфатной и 57,55 % – для лиственной сульфатной целлюлозы. Небольшое снижение длины для лиственной сульфатной целлюлозы на первом этапе размола обуславливается изначально меньшим размером волокна и большей плотностью волокна. Динамика процесса размола показывает, что при увеличении продолжительности до 120 минут средняя длина частиц хвойной сульфитной целлюлозы дополнительно уменьшается на 13,47 %, хвойной сульфатной целлюлозы – на 6,38 %, а лиственной сульфатной целлюлозы – на 16,10 %.



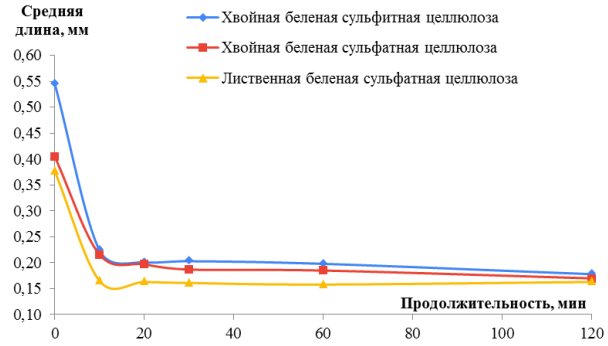
Серная кислота с концентрацией 2 %



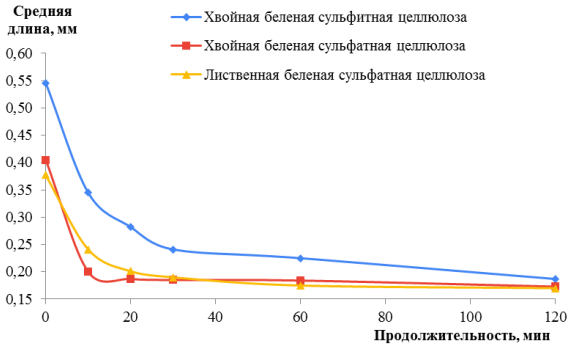
Лимонная кислота с концентрацией 2 %



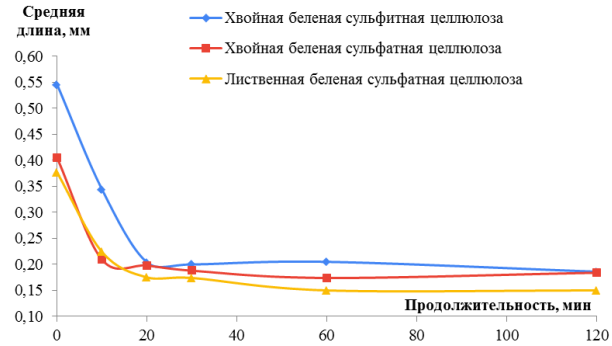
Серная кислота с концентрацией 6 %



Лимонная кислота с концентрацией 6 %



Серная кислота с концентрацией 10 %



Лимонная кислота с концентрацией 10 %

Рисунок 1 – Изменение средней длины частиц целлюлозы в зависимости от концентрации и вида кислоты

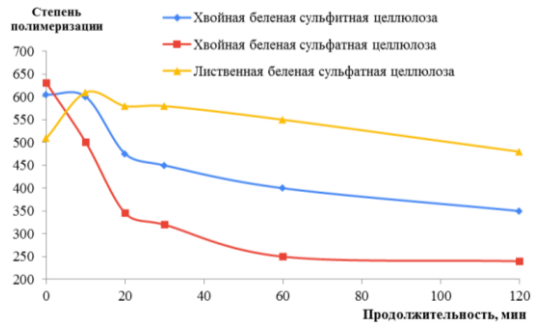
Figure 1 – Change in the average length of cellulose particles depending on the concentration and type of acid

Таким образом, хвойная сульфатная целлюлоза в меньшей мере поддается механической обработке, что обусловлено изначально высокой длиной волокна и его структурой. Следует также отметить: с увеличением продолжительности размола снижается интенсивность уменьшения средней длины. Это обусловлено частичным разрывом гликозидных связей целлюлозы (сопровождающимся снижением средней степени полимеризации) и как следствие более плотной упаковкой молекул, препятствующей дальнейшему разрыву связей под механическим действием.

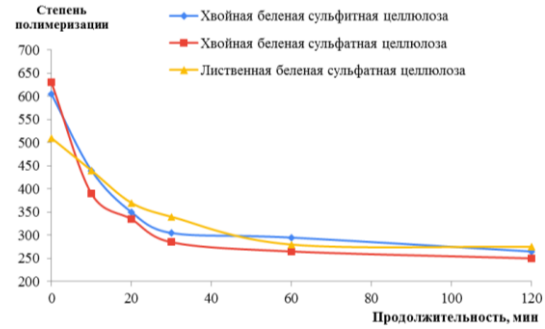
Было определено, что наиболее эффективно процесс сухого размола идет в течение 60 минут, что применимо для технологии получения порошковой целлюлозы. В соответствии с технологией производства микрокристаллической целлюлозы за стадией размола следует стадия кислотного гидролиза, поэтому имеется возможность сокращения продолжительности стадии сухого размола до 30 минут.

Гидролиз с целью получения МКЦ проводили с использованием серной и лимонной кислоты. Выбранный диапазон концентраций – 2, 6 и 10 %. Гидролиз проводили по ранее разработанным режимам: температура обработки 80 ºС, гидромодуль 1:10. Поскольку лимонная кислота слабо диссонирует в воде (исходный pH 2,58), ожидается, что такой гидролиз будет более щадящим в сравнении с гидролизом серной кислотой. Для оценки влияния процесса гидролиза на изменение средней длины и степени полимеризации осуществляли отбор проб спустя 10, 20, 30, 60 и 120 минут после начала гидролиза (рисунок 1).

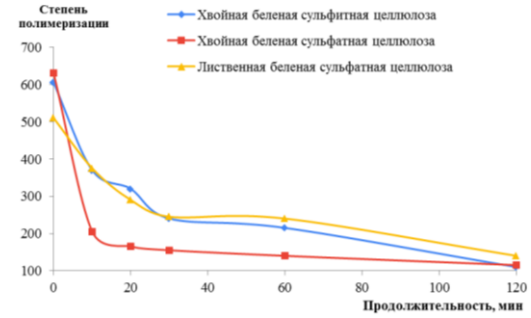
Изменение средней длины частиц целлюлозы в процессе гидролиза в большей степени зависит от концентрации кислоты, чем от ее природы. Установлено, что при увеличении продолжительности процесса снижается интенсивность изменения средней длины – преимущественно уменьшение размеров частиц происходит в течение первых 10 минут обработки и во всех случаях значительно замедляется после 60 минут. Природа кислоты оказывает основной эффект на среднюю степень полимеризации получаемого продукта, что подтверждается графиками на рисунке 2.



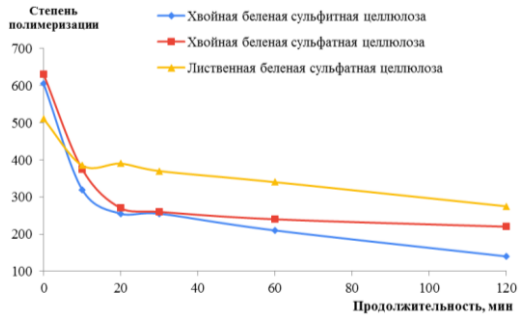
Серная кислота с концентрацией 2 %



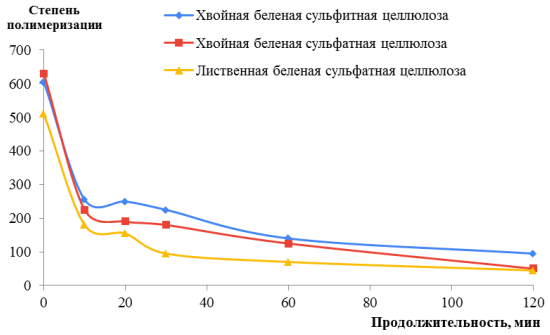
Лимонная кислота с концентрацией 2 %



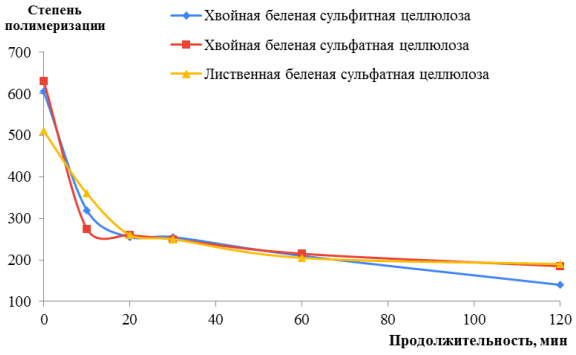
Серная кислота с концентрацией 6 %



Лимонная кислота с концентрацией 6 %



Серная кислота с концентрацией 10 %



Лимонная кислота с концентрацией 10 %

Рисунок 2 – Изменение средней степени полимеризации целлюлозы в зависимости от концентрации и вида кислоты
Figure 2 – Change in the average degree of polymerization of cellulose particles depending on the concentration and type of acid

На основании представленных данных были сделаны следующие ***выводы***:

При увеличении продолжительности гидролиза и концентрации кислоты наблюдается снижение средней длины частиц и степени полимеризации, оптимальная продолжительность процесса составляет 40…60 минут. Так, при гидролизе серной кислотой с концентрацией 2 % средняя длина частиц сульфитной хвойной целлюлозы за 10 минут размола снижается на 28,39 %, максимальное снижение составляет 36,26 % и достигается за 60 минут гидролиза. Для хвойной сульфатной целлюлозы эти значения составляют соответственно 12,59 % за 10 минут и максимально 24,92 %, которые также достигаются за 60 минут. В случае с лиственной целлюлозой наблюдается небольшое увеличение средней длины, которое может быть обусловлено раздавливанием волокон. Схожая ситуация наблюдается при гидролизе органической кислотой, наибольшее снижение наблюдается для хвойной сульфитной целлюлозы и составляет 67,22 %. В случае со средней степенью полимеризации наибольшее снижение наблюдается при гидролизе хвойной сульфатной целлюлозы при продолжительности 120 минут (61,91 %). Это может быть обусловлено тем, что при получении хвойной сульфатной целлюлозы она проходит достаточно жесткую обработку наиболее полно удаляющие гемицеллюлозы и низкомолекулярные компоненты, которые могли бы замедлять процесс гидролиза.

Поскольку ранее авторами было показано, что наиболее эффективно процесс гидролиза происходит при продолжительности обработки 60 минут и использовании 10 %-ной концентрации кислоты, такой режим был выбран для проведения сравнительного анализа препаратов микрокристаллической целлюлозы. В таблице 3 представлены результаты фракционного анализа выбранных образцов. Следует отметить, что наибольшее количество остатка на поддоне остается при гидролизе серной и лимонной кислотой хвойной сульфатной целлюлозы, что подтверждает самую высокую реакционную способность у данного образца. Как упоминалось раньше, это может быть обусловлено более жесткой обработкой и, как следствие, низким содержанием остаточного лигнина, который придает волокну механическую прочность, низким содержанием низкомолекулярных компонентов, а также поврежденной структурой клеточной стенки волокна. В таблице 4 представлен сравнительный анализ полученных образцов с требованиями фармакопейного стандарта и товарным образцом китайского производства.

Таблица 3 – Фракционный состав препаратов микрокристаллической целлюлозы

Table 3 – Fractional composition of microcrystalline cellulose samples

Остаток на сите, %	**МКЦ пр-во Китай**	Серная кислота			Лимонная кислота		
		МКЦ из БСФИ	МКЦ из БХЦ	МКЦ из БЛЦ	МКЦ из БСФИ	МКЦ из БХЦ	МКЦ из БЛЦ
1 мм–500 мкм	0,00	0,47	0,73	11,43	0,41	0,41	0,51
250 мкм	0,16	3,23	2,71	6,00	5,05	3,61	4,48
Остаток 1 мм–250 мкм	**0,16**	**3,70**	**3,44**	**17,43**	**5,46**	**4,02**	**4,99**
125 мкм	36,21	12,08	11,30	15,72	13,86	11,67	13,08
71 мкм	22,25	17,17	16,82	16,24	17,19	17,59	19,67
Остаток 125–71 мкм	**58,46**	**29,25**	**28,12**	**31,96**	**31,05**	**29,26**	**32,75**
63 мкм	6,04	8,08	8,40	6,97	6,98	8,37	9,34
45 мкм	10,34	21,22	17,43	12,10	17,16	19,54	19,17
Остаток 63–45 мкм	**16,38**	**29,3**	**25,83**	**19,07**	**24,14**	**27,91**	**28,51**
Поддон	**23,43**	**27,05**	**34,32**	**25,86**	**29,77**	**32,45**	**23,13**

Таблица 4 – Сравнительный анализ образцов микрокристаллической целлюлозы

Table 4 – Comparative analysis of microcrystalline cellulose samples

Наименование показателя	**МКЦ пр-во Китай**	Серная кислота			Лимонная кислота		
		МКЦ из БСФИ	МКЦ изБХЦ	МКЦ из БЛЦ	МКЦ из БСФИ	МКЦ Из БХЦ	МКЦ из БЛЦ
Средняя длина частиц, мкм	**176**	226	296	295	212	387	201
Степень полимеризации	**235**	150	125	85	280	215	320
Насыпная плотность, кг/м3	**428**	326	423	354	366	391	381
Остаток после прокаливания, %	**0,08**	0,08	0,05	0,00	0,01	0,24	0,06
Вещества, растворимые в воде, %	**0,27**	0,01	0,10	0,10	0,43	0,02	0,39
Вещества, растворимые в эфире, %	**0,01**	0,38	0,11	0,04	0,09	0,14	0,04
Электропроводность, мкСм/см	**42,02**	38,74	24,43	54,06	60,86	49,4	43,06
Степень кристалличности, %	**–**	75,7	71,6	67,9	70,4	63,8	–

На основании данных, представленных в таблице, можно сделать следующие выводы.

Все полученные образцы МКЦ преимущественно соответствуют требованиям к микрокристаллической целлюлозе и демонстрируют близкие значения характеристик с коммерческим образцом китайского производства.

Следует отметить, что образец из лиственной целлюлозы, гидролизованный серной кислотой, демонстрирует степень полимеризации менее 100, что говорит о сильной деструкции материала.

Наибольшее значение насыпной плотности демонстрируют образцы, полученные из хвойной сульфатной целлюлозы, гидролизом как серной, так и лимонной кислотой. Следует отметить, что образец, полученный гидролизом серной кислотой, демонстрирует значение насыпной плотности, сопоставимое китайскому образцу.

При гидролизе лимонной кислотой в образцах наблюдается большее содержание веществ, растворимых в воде, что свидетельствует о большем количестве образующихся

побочных продуктов (продукты деструкции целлюлозы, остатки кислоты, минеральные примеси).

МКЦ, полученная из сульфитной целлюлозы гидролизом с серной кислотой, демонстрирует высокое значение содержания веществ, растворимых в эфире, что может быть обусловлено изначально большим содержанием смол и жиров в исходном сырье.

В ходе исследования влияния качества исходного полуфабриката и условий гидролиза на степень кристалличности получаемых образцов МКЦ, установлено, что при кислотном гидролизе целлюлозы в первую очередь разрушаются гликозидные связи, расположенные в аморфных участках, что приводит к увеличению степени кристалличности относительно исходного образца.

Наибольшие значения как при гидролизе серной, так и при гидролизе лимонной кислотой характерны для МКЦ из сульфитной целлюлозы и составляют соответственно 75,7 и 70,4 %, что обусловлено частичным гидролизом целлюлозы, происходящим в процессе сульфитной делигнификации растительного сырья.

Выявлено, что гидролиз серной в сравнении с лимонной кислотой позволяет получить образцы МКЦ с большей степенью кристалличности, так, например, для образцов беленой хвойной сульфатной целлюлозы, гидролизованных 10 %-ной серной и лимонной кислотой в одинаковых условиях, степень кристалличности соответственно составляет 71,6 и 63,8 %, что также подтверждается интенсивностью изменения степени полимеризации образцов.

ВЫВОДЫ

Исследованные особенности исходного сырья для получения МКЦ – беленой целлюлозы – компонентный состав, структурно-морфологические характеристики волокна, способ делигнификации оказывают ключевое влияние на процесс гидролиза и свойства получаемой порошковой и микрокристаллической целлюлозы.

При механической обработке образцов товарной целлюлозы с целью получения порошковой целлюлозы основным определяющим фактором являются именно структурно-морфологические характеристики волокна (в первую очередь его длина), а не его химический состав.

На процесс кислотного гидролиза целлюлозы существенное влияние оказывают качественные параметры исходного сырья. При этом динамика процесса характеризуется следующими особенностями:

– увеличение продолжительности гидролиза оказывает положительное влияние на характеристики МКЦ до 60 минут;

– повышение концентрации кислоты также способствует интенсификации процесса.

Эти же особенности оказывают влияние на свойства получаемой микрокристаллической целлюлозы, например, образцы, полученные из сульфитной целлюлозы, демонстрируют более высокое значение степени кристалличности, что обуславливается кислой природой варки, приводящей к частичной деструкции целлюлозы на этапе ее получения.

На основании проведенного исследования были отмечены следующие особенности при получении порошковой и микрокристаллической целлюлозы из различных полуфабрикатов:

1. Образцы сульфатной и сульфитной хвойной целлюлозы требуют больших энергетических затрат на проведение стадии сухого размола до порошкового состояния в сравнении с образцом сульфатной лиственной целлюлозы.

2. Наибольшую интенсивность разрушения демонстрирует хвойная сульфатная целлюлоза, что обуславливается способом делигнификации полуфабриката. Также при гидролизе хвойной сульфатной целлюлозы образуется наибольшее количество частиц с размером менее 45 мкм в сравнении с остальными полученными препаратами МКЦ.

3. При гидролизе хвойной сульфитной целлюлозы как серной, так и лимонной кислотой наблюдается значительное увеличение индекса кристалличности в сравнении с другими образцами, что может быть обусловлено кислой природой варки, приводящей к частичному разрушению аморфной части еще на этапе получения целлюлозы.

Для всех изученных образцов сырья для получения МКЦ является режим: ГМ 1:10, продолжительность 60 минут, температура 80 ºС, концентрация кислоты 10 %. В зависимости от используемого сырья параметры данного режима могут быть скорректированы для получения продукта с заданными свойствами.

Таким образом, при получении порошковых целлюлозных материалов актуальным вопросом становится оценка характеристик исходного полуфабриката с целью оптимизации стадий получения и достижения требуемых характеристик качества МКЦ.

Работа выполнена на базе инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера», а также с применением оборудования центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика», Северного (Арктического) Федерального университета имени М.В. Ломоносова.

The study was carried out at the Innovation and Technology Center "Modern Technologies for Processing Northern Bioresources" and using Instrumentation of the Core Facility Center «Arktika» of Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пыжев А.И. Российская целлюлозно-бумажная промышленность: в поисках новых точек роста // Экономика и управление. 2023. № 8. С. 917–926.

2. Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Современное состояние, тенденции и перспективы развития целлюлозно-бумажной промышленности Российской Федерации // Лесной вестник. 2022. № 6. С. 148–159.

3. Топтунов Е.А., Севастьянова Ю.В. Порошковые целлюлозные материалы: обзор, классификация, характеристики и области применения // Химия растительного сырья. 2021. № 4. С. 31–45.

4. Целлюлоза и наноцеллюлоза. Обзор / А.Н. Зарубина [и др.] // Лесной вестник. 2019. № 23. С. 116–125.

5. Dufresne A. Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial // Mater. Today. 2013. № 16. P. 220–227.

6. Юртаева Л.В., Алашкевич Ю.Д. Способ получения микрокристаллической целлюлозы на основе биоповрежденной древесины // Хвойные бореальной зоны. 2022. № 2. С. 158–163.

7. Получение микрокристаллической целлюлозы из тростника методом гидротермальной конверсии / Ю.В Куликова [и др.] // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия : Технические науки. 2025. № 1. С. 113–119.

8. Отбелка микрокристаллической целлюлозы, полученной методом газофазного гидролиза / А.И. Сизов [и др.] // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2021. № 6. С. 173-183.

9. Получение и оценка токсичности invivo микрокристаллической целлюлозы бактериального происхождения / К.С. Болотова [и др.] // Экология человека. 2018. № 2. С. 21–25.

10. Влияние вида ножевой размалывающей гарнитуры на процесс получения микрокристаллической целлюлозы / Л.В. Юртаева [и др.] // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2024. № 2. С. 152–165.

11. Щербакова Т.П., Котельникова Н.Е., Быховцева Ю.В. Сравнительное изучение образцов порошковой и микрокристаллической целлюлозы различного происхождения. Физико-химические характеристики // Химия растительного сырья. 2011. № 3. С. 33–42.

12. Щербакова Т.П., Котельникова Н.Е., Быховцева Ю.В. Сравнительное изучение образцов порошковой и микрокристаллической целлюлозы различного происхождения. Надмолекулярная структура и химический состав порошковых образцов // Химия растительного сырья. 2012. № 2. С. 5–14.

13. Аутлов С.А., Базарнова Н.Г., Кушнир Е.Ю. Микрокристаллическая целлюлоза: структура, свойства и области применения (обзор) // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С. 33-41.

14. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров : учеб. для вузов. Лань, СПб., 2010. 627 с.

15. Azubuike C.P., Okhamafe A.O. Physicochemical spectroscopic and thermal properties of microcrystalline cellulose derived from cormcobs // International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 2012. № 1. P. 9.

16. Кононов Г.Н., Зайцев В.Д. Древесина как химическое сырье: история и современность // Лесной вестник. 2020. № 24. С. 74–89.

17. Терентьева Э.П., Удовенко Н.К., Павлова Е.А. Химия древесины, целлюлозы и синтетических полимеров : учеб. пособие. СПбГТУРП, СПб., 2014. Ч. 1. 53 с.

18. Хакимова Ф.Х., Носкова О.А. Использование древесной целлюлозы повышенного выхода в качестве сырья для получения порошковой целлюлозы // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2003. № 1. С. 101–106.

19. Новое гидратцеллюлозное волокно из льняной целлюлозы / И.С. Макаров [и др.] // Российский химический журнал. 2020. № 64. С. 13–21.

20. Пустынная М.А., Гусакова М.А., Боголицын К.Г. Региональные и возрастные изменения химического состава лигноуглеводной матрицы лиственной древесины (на примере осины populoustremula) // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2015. № 1. С. 133–143.

21. Segal L., Creely J.J., Martin Jr., A.E. and Conrad C.M. An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer // Textile Research Journal. 1959. № 29. P. 786–794.

Информация об авторах

Е. А. Топтунов – младший научный сотрудник ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера», старший преподаватель кафедры ЦБиЛХП САФУ.

Ю. В. Севастьянова – кандидат технических наук, директор ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера», доцент кафедры ЦБиЛХП САФУ.

А. В. Малков – кандидат химических наук, старший научный сотрудник ЦКП «Арктика», доцент кафедры теоретической и прикладной химии САФУ.

REFERENCES

1. Pyzhev, A.I. (2023). Russian pulp and paper industry: in search of new growth points. *Economy and Management*, (8), 917-926. (in Russ.).

2. Pinyagina, N.B. & Gorshenina, N.S. (2022). Current state, trends and prospects for the development of the pulp and paper industry of the Russian Federation. *Forest Bulletin*, (6), 148-159. (in Russ.).

3. Toptunov, E.A. & Sevastyanova, Yu.V. (2021). Powder cellulose materials: review, classification, characteristics and areas of application. *Chemistry of plant raw materials*, (4), 31-45. (in Russ.).

4. Zarubina, A.N., Ivankin, A.N., Kuleznev, A.S. & Kochetkov, V.A. (2019). Cellulose and nanocellulose. Review. *Forest Bulletin*, (23), 116-125. (in Russ.).

5 Dufresne, A. (2013). Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial. *Mater. Today*, (16), 220-227.

6. Yurtaeva, L.V. & Alashkevich, Yu.D. (2022). Method for obtaining microcrystalline cellulose based on biodegraded wood. *Conifers of the boreal zone*, (2), 158-163. (in Russ.).

7. Kulikova, Yu.V., Orlov, N.I., Kapitunova, A.I., Zhikhreva, A.V. & Babich, O.O. (2025). Obtaining microcrystalline cellulose from reed by hydrothermal conversion. *News of universities. North Caucasian region. Series: Technical sciences*., (1), 113-119. (in Russ.).

8. Sizov, A.I., Pimenov, S.D., Stroiteleva, A.D. & Stroiteleva, E.D. (2021). Bleaching of microcrystalline cellulose obtained by gas-phase hydrolysis. *Forestry Journal*, (6), 173-183 (in Russ).

9. Bolotova, K.S., Buyuklinskaya, O.V., Chistyakova, A.S., Travina, O.V. & Chukhchin, D.G. (2018). Production and in vivo toxicity assessment of microcrystalline cellulose of bacterial origin. *Human ecology*, (2), 21-25. (in Russ.).

10. Yurtaeva, L.V., Alashkevich, Yu.D., Slizikova, E.A., Kaplev, E.V. & Pozharkova, S.A. (2024). Influence of the type of knife grinding set on the process of obtaining microcrystalline cellulose. *Forestry Journal*, (2), 152-165. (in Russ.).

11. Shcherbakova, T.P., Kotelnikova, N.E. & Bykhovtseva, Yu.V (2011). Comparative study of powder and microcrystalline cellulose samples of different origin. Physicochemical characteristics. *Chemistry of plant raw materials*, (3), 33-42. (in Russ.).

12. Shcherbakova, T.P., Kotelnikova, N.E. & Bykhovtseva, Yu.V. (2012). Comparative study of powder and microcrystalline cellulose samples of different origin. Supramolecular structure and chemical composition of powder samples. Physicochemical characteristics. *Chemistry of plant raw materials*, (2), 5-14. (in Russ.).

13. Outlov, S.A., Bazarnova, N.G. & Kushnir, E.Yu. (2013). Microcrystalline cellulose: structure, properties and areas of application (review). *Chemistry of plant raw materials*, (3), 33-41. (in Russ.).

14. Azarov, V.I., Burov, A.V. & Obolenskaya, A.V. (2010). Chemistry of wood and synthetic polymers: textbook for universities. Lan, St. Petersburg, 627 p.

15. Azubuike, C.P. & Okhamafe, A.O. (2012). Physicochemical spectroscopic and thermal properties of microcrystalline cellulose derived from corn cobs. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, (1), 9.

16. Kononov, G.N. & Zaitsev, V.D. (2020). Wood as a chemical raw material: history and modernity. *Forest Bulletin*, (24), 74-89. (in Russ.).

17 Terentyeva, E.P., Udovenko, N.K. & Pavlova, E.A. (2014). Chemistry of wood, cellulose and synthetic polymers: a tutorial. SPbGTURP, SPb. Part 1. 53 p.

18. Khakimova, F.Kh. & Noskova, O.A. (2003). Use of high-yield wood cellulose as a raw material for producing powder cellulose. *Forestry journal*, (1), 101-106. (in Russ.).

19. Makarov, I.S., Golova, L.K., Vinogradov, M.I., Egorov, Yu.A., Kulichikhin, V.G. & Mikhailov, Yu.M. (2020). New hydrated cellulose fiber from flax cellulose. *Russian Chemical Journal*, (64), 13-21. (in Russ.).

20. Pustynnaya, M.A., Gusakova, M.A. & Bogolitsyn, K.G. (2015). Regional and age-related changes in the chemical composition of the lignocarbohydrate matrix of deciduous wood (on the example of aspen populous tremula). *Forestry Journal*, (1), 133-143. (in Russ.).

21. Segal, L., Creely, J.J., Martin Jr., A.E. & Conrad, C.M. (1959). An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer. Textile Research Journal, 29, 786-794.

Information about the authors

E.A. Toptunov - Junior Researcher, ITC "Modern Technologies for Processing Northern Bioresources", Senior Lecturer, Department of Centralized Biological and Forestry Production, NArFU.

Yu.V. Sevastyanova - Candidate of Technical Sciences, Director, ITC "Modern Technologies for Processing Northern Bioresources", Associate Professor, Department of Centralized Biological and Forestry Production, NArFU.

A.V. Malkov - Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, Core Facility Center «Arktika», Associate Professor, Department of Theoretical and Applied Chemistry, NArFU.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 190–194.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 190–194.

CC BY

Научная статья
2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 577.3 2:66.084
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.030 EDN: YGANCQ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДА КОЛЕБАНИЙ В МОДЕЛИ ЛОТКА-ВОЛЬТЕРРА

Александр Иванович Мошинский [1], Лариса Николаевна Рубцова [2], Елизавета Олеговна Цветкова [3]

[1, 2, 3] Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Санкт-Петербург, Россия
[1] alex-moshinskij@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7135-0823
[2] larisapns@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-1687-1890
[3] cvetcova.elizaveta@spcpu.ru, https://orcid.org/0009-0005-3566-184X

Аннотация. *Система уравнений Лотка-Вольтерра, предложенная Лотка для описания периодической химической реакции и Вольтерра для моделирования биологической проблемы взаимодействия двух видов популяции, конкретно хищников и их жертв, стала классической для химико-биологических явлений. Тем не менее, не существует простых аналитических зависимостей, описывающих протекание процесса на основе уравнения математической модели. Поэтому в многочисленных учебниках и монографиях вынуждены приводить результаты, полученные численными методами, главным образом по эволюции концентраций популяций хищников и жертв, из-за чего трудно понять, как те или иные параметры модели влияют на протекание процесса взаимодействия популяций в системе. В работе анализируется система уравнений Лотка-Вольтерра как аналитическими, так и численными методами. Основной интерес представляет определение периода колебаний в системе Лотка-Вольтерра, что, главным образом и явилось целью исследования в настоящей работе. В работе получены простые аналитические зависимости, определяющих влияние специальных (определенных) комбинаций параметров модели хищник-жертва на период колебаний в системе. Выведена также асимптотическая зависимость для периода колебаний, когда фазовая кривая процесса подходит близко к началу координат фазовой плоскости.*

Ключевые слова: *Модель Лотка-Вольтерра, период колебаний, асимптотическая зависимость, аппроксимация.*

Для цитирования: Мошинский А. И., Рубцова Л. Н., Цветкова Е. О. Исследование периода колебаний в модели Лотка-Вольтерра // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 190–194. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.030. EDN: https://elibrary.ru/YGANCQ.

Original article

STUDY OF OSCILLATION PERIOD IN LOTKA-VOLTERRA MODEL

Alexander I. Moshinsky [1], Larisa N. Rubtsova [2], Elizabeth O. Tsvetcova [3]

[1, 2, 3] Saint Petersburg State University of Chemistry and Pharmacy, Saint Petersburg, Russia
[1] alexander.moshinsky@pharminnotech.com, https://orcid.org/0000-0001-7135-0823
[2] larisapns@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-1687-1890
[3] cvetcova.elizaveta@spcpu.ru

Abstract. *The system of Lotka-Volterra equations is analyzed. The main goal is to obtain a relationship between the period of population fluctuations and the parameters that determine the course of the process in the predator-prey system. An asymptotic dependence is also derived for the oscillation period when the phase curve of the process approaches closes to the origin of the coordinates of the phase plane. Therefore, numerous textbooks and monographs are forced to present results obtained by numerical methods, mainly on the evolution of population concentrations of predators and prey, which makes it difficult to understand how certain model parameters affect the process of interaction between populations in the system. The work analyzes the system of Lotka-Volterra equations using both analytical and numerical methods. The main interest is in determining the period of oscillations in the Lotka-Volterra system, which was the main purpose of the study in this work. The work obtained simple analytical dependencies that determine the influence of special (certain) combinations of parameters of the predator-prey model on the period of oscillations in the system. An asymptotic dependence has also been derived for the oscillation period when the phase curve of the process approaches the origin of coordinates of the phase plane.*

Keywords: *Lotka-Volterra model, oscillation period, asymptotic dependence, approximation.*

For citation: Moshinskiy, A. I., Rubtsova, L. N., Tsvetcova, E. O. (2026). *Study of oscillation period in lotka-volterra model. Polzunovskiy vestnik*, (1), 190-194. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.030. EDN: https://elibrary.ru/YGANCQ.

© Мошинский А. И., Рубцова Л. Н., Цветкова Е. О., 2026

ВВЕДЕНИЕ

Модель Лотка-Вольтерра стала классической при изучении биологических проблем с периодическим по времени протеканием процессов. Это выражается в том, что во многих монографиях и учебниках по математическому моделированию биологических процессов обязательно упоминается система уравнений Лотка-Вольтерра (см. например, [1–8]). В математической литературе по дифференциальным уравнениям также довольно часто (например, [9–11]) исследуют систему уравнений Лотка-Вольтерра. Эта модель также не редко присутствует в междисциплинарной литературе по синергетике [12, с. 209, 13, с. 179].

В данном сообщении мы на основе численного анализа системы уравнений Лотка-Вольтерра приведем формулу для расчета периода колебаний концентраций особей. В приведенных ниже безразмерных переменных аппроксимационная формула оказалась довольно точной, что было выяснено на многочисленных расчетах, проводимых на семинарах (лабораториях) для студентов.

Постановка задачи. Пусть на одной и той же территории проживают две биологические популяции с численностями $N(t)$ и $M(t)$, причем первая, например, растительноядная, а вторая употребляет в пищу представителей первой популяции (например, зайцы и рыси). Такая же ситуация возникает и в пруду, населенном карасями и щуками.

Уравнение, определяющее эволюцию популяции жертвы (N), имеет вид

$$\frac{dN}{dt} = (\alpha_1 - \beta_1 M) N, \qquad (1)$$

где $\alpha_1 > 0$, $\beta_1 > 0$, член $\beta_1 MN$ описывает вынужденное убывание (естественной смертностью популяции N пренебрегаем). Закон убывания объясняется тем, что вероятность «взаимодействия» популяций считается пропорциональной количеству особей обеих популяций. При построении модели хищник-жертва предполагается, что суммарный объем обеих особей намного меньше объема ареала и что число особей достаточно велико, чтобы для анализа их изменения можно было бы привлекать дифференциальное исчисление. Можно условно далее (в частности) считать, что N – число карасей, M – число щук.

Численность второй популяции (хищника M) растет тем быстрее, чем больше численность первой популяции, а при ее отсутствии уменьшается со скоростью, пропорциональной численности $M(t)$ (тем самым ее рождаемость не учитывается, как и эффект насыщения):

$$\frac{dM}{dt} = (-\alpha_2 + \beta_2 N) M, \qquad (2)$$

где $\alpha_2 > 0$, $\beta_2 > 0$. Каждый акт «взаимодействия» уменьшает популяцию жертв, но способствует увеличению популяции хищников (члены $\beta_1 MN$ и $\beta_2 NM$ в правой части уравнений).

Очевидно, что система находится в равновесии при $M_* = \alpha_1/\beta_1$ и $N_* = \alpha_2/\beta_2$, когда $dN/dt = dM/dt = 0$ (тривиальные случаи, когда $N = 0$ и (или) $M = 0$ при равновесии мы не рассматриваем).

Система уравнений (1), (2) имеет интеграл, который получается при делении одного уравнения на другое, разделения переменных в получившемся уравнении и интегрировании результата:

$$p(N) + q(M) = R,\ p(N) = \beta_2 N - \alpha_2 \ln(N),$$
$$q(M) = \beta_1 M - \alpha_1 \ln(M), \qquad (3)$$

где R – постоянная интегрирования.

Систему (1), (2) приведем к безразмерному виду, введя следующие переменные и параметры

$$n = N/N_*,\ m = M/M_*,\ \kappa = \alpha_1/\alpha_2,\ n_0 = N_0/N_*,\ m_0 = M_0/M_*,\ \omega = (\alpha_1\alpha_2)^{1/2},\ \tau = t\omega, \qquad (4)$$

где

$$N_* = \alpha_1/\beta_1, \quad M_* = \alpha_2/\beta_2.$$

Некоторые кривые, описываемые уравнением (3) в плоскости [фазовой для системы (1), (2)] n, m, при определенных значениях предварительно приведенной к безразмерному виду, постоянной R, представлены на рисунке 1. Замкнутые кривые свидетельствуют о периодическом протекании процесса изменения численности популяций хищников и жертв, что было (приближенно) замечено в случае малых отклонений от равновесных значений в ряде работ. Стрелки на рисунке 1 показывают направление развития процесса во времени.

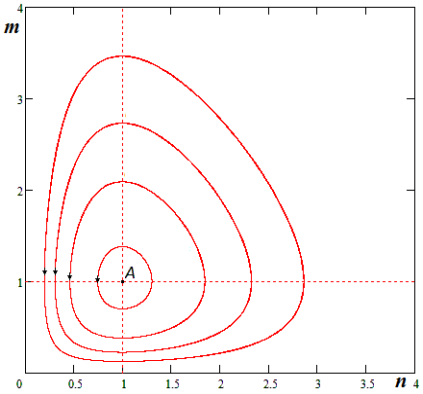


Рисунок 1 – Фазовые кривые системы уравнений (1), (2)

Figure 1 – Phase curves of the system of equations (1), (2)

В безразмерных координатах центр овалов в фазовой плоскости (точка A на рис. 1) имеет координаты (1, 1).

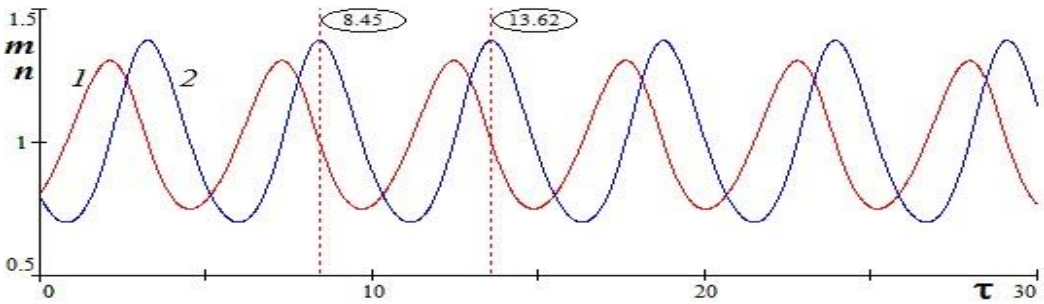


Рисунок 2 – *1*) жертва *n*, *2*) хищник *m* / Figure 2 – 1) victim n, 2) predator m

На рисунке 2 представлены концентрации m и n как функции времени.

Целью работы является нахождение расчетной формулы для определения периода колебаний популяций хищников и жертв как функции присутствующих в задаче параметров.

Анализ проблемы определения периода колебаний популяций.

В переменных (4) задача (1), (2) запишется так

$$\frac{dn}{d\tau}=\sqrt{\kappa}(1-m)n,\quad \frac{dm}{d\tau}=\frac{1}{\sqrt{\kappa}}(n-1)m, \tag{5}$$

$$n(0)=n_0,\quad m(0)=m_0. \tag{6}$$

Интеграл (3) теперь имеет форму

$$n-\ln(n)+\kappa[m-\ln(m)]=\text{const}=r=n_0-\ln(n_0)+\kappa[m_0-\ln(m_0)]. \tag{7}$$

Из полученных зависимостей следует, что период колебаний является функцией двух переменных κ и r, т.е. $T=T(\kappa, r)$.

При построении фазовой траектории при численном расчете все равно, с какой точки кривой начинать расчет. Однако удобно начинать на «диагонали» $n=m$, т.е. принять

$$n_0=m_0=\gamma. \tag{8}$$

Именно такие характерные кривые при выходе из одной точки γ (8) показаны на рисунке 2. Процедура определения периода колебаний построена так.

Для определения периода колебаний численности популяций при конкретных значениях параметров целесообразно использовать возможности программы Mathcad, выделив вертикальным маркером характерную точку на графике одной из функций $n(\tau)$ или $m(\tau)$. Можно взять точку максимума или минимума выбранной функции. Далее другой вертикальный маркер поместить в точку, отстоящую от выбранной на величину периода. Теперь по показаниям координат при маркерах можно с достаточной для практики точностью определить значение периода колебаний. Например, из рис. 2 следует, что период колебаний в безразмерных единицах равен $T = 13.62 - 8.45 = 5.17$. Удобнее при выборе $n_0 = m_0$, когда при $\tau = 0$ две кривые пересекаются, найти точку их пересечения, отстоящую на период колебаний и поместить в нее вертикальный маркер. При этом показание единственного маркера будет давать период колебаний.

В данном случае, учитывая соотношение (8), значение интеграла (7) таково:

$$r=(\gamma-\ln\gamma)(1+\kappa). \tag{9}$$

Зафиксировав параметр κ и меняя величину γ от 0.05 до 1, находим период T как функцию параметров κ и r, т.е. $T = T(\kappa,r)$. При $\gamma > 1$ мы по второму разу попадем на уже выбранный овал с некоторой координатой при $\gamma < 1$. Поэтому для определения периода колебаний достаточно ограничиться интервалом $0 < \gamma < 1$. Примечательно, что эта функция оказалась практически линейной:

$$T(\kappa,r)=a(\kappa)r+b(\kappa). \tag{10}$$

Таблица 1 – Данные расчета функции $T(\kappa,r)$ с учетом зависимости (10) при k = 5
Table 1 – Calculation data for the function T (κ,r) taking into account dependence (10) at k = 5

γ	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
r	18.274	14.416	12.283	10.857	9.818	9.024	8.399	7.898
T	13/843	11.622	10.364	9.401	8.646	8.276	7.906	7.536
γ	0.45	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
r	7.491	7.159	6.887	6.665	6.34	6.139	6.032	6/0
T	7.24	7.092	6.869	6.721	6.425	6.351	6,277	6.28

В качестве примера в таблице 1 приведены результаты численного расчета по предложенному методу при $\kappa = 5$. При этом в формуле (10) $a = 1.132$, $b = 4.011$.

Простая структура зависимости $T(\kappa, r)$, выраженная формулой (10), позволяет сравнительно легко построить аппроксимационную формулу для периода колебаний $T(\kappa,r)$ с хорошей точностью. Формула для $T(\kappa,r)$ представляется через две простые функции одной переменной.

В ряде цитированных монографий проводится исследование поведения решения в окрестности точки A на рисунке 1 путем линеаризации системы уравнений (1), (2). Легко проверить, что в случае безразмерной системы уравнений (5) при $\gamma \to 1$ получаем $T \to 2\pi$. Таким образом, в соотношении (10) можно разыскивать только одну из функций $a(\kappa)$ и $b(\kappa)$. Другую найдем из выражения:

$$2\pi=a(\kappa)(1+\kappa)+b(\kappa). \tag{11}$$

Для функций $a(\kappa)$ и $b(\kappa)$ расчетные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные расчета функции $a(\kappa)$ и $b(\kappa)$ с учетом зависимости (11) .
Table 2 – Calculation data for functions $a(\kappa)$ and $b(\kappa)$ taking into account dependence (11).

κ	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.5
a	3.132	1.99	1.539	1.291	1.132	0.953
b	2.937	3.472	3.689	3.925	4.011	3.908
κ	2	2.4	3	4	5	7
a	0.843	0.789	0.72	0.669	0.625	0.567
b	3.731	3.585	3.39	2.932	2.57	1.84

Эти данные можно аппроксимировать следующей зависимостью:

$$a(\kappa)=0.426+0.73/\kappa^{0.816}. \tag{12}$$

Теперь период колебаний численности популяций можно рассчитывать по следующей аппроксимационной формуле:

$$T(\kappa,r)=2\pi+a(\kappa)(r-1-\kappa),\ \kappa\in(0.2,\ 7),\ r=O(1), \tag{13}$$

полученной при комбинации зависимостей (10)–(12). Соотношение (13) проиллюстрировано на рисунке 3.

Рисунок 3 свидетельствует о хорошей визуальной точности аппроксимационной формулы (12) данным таблицы 2. Приведем также значение критерия среднеквадратичного отклонения зависимости (12) и дискретных величин $a(\kappa)$ из таблицы 2:

$$\frac{1}{12}\sum_{n=1}^{12}\left[a(\kappa_n)-a^*(\kappa_n)\right]^2=1.225\times10^{-4},$$

где $a^*(\kappa_j)$ – данные таблицы 2, $a(\kappa_j)$ – расчет по соотношению (12).

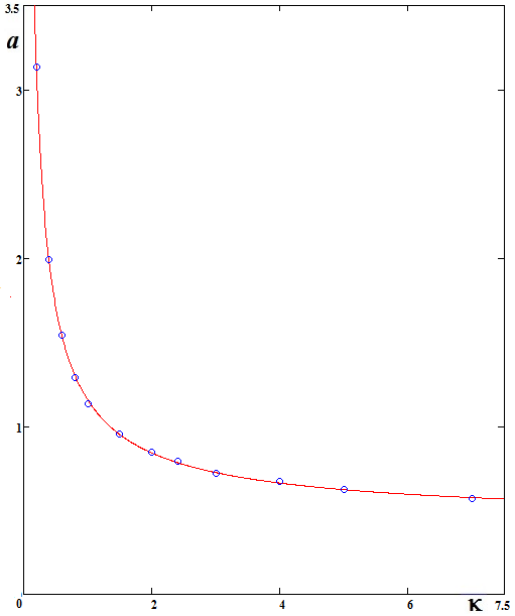


Рисунок 3 – Аппроксимационная формула для функции a (κ) (12), ° – данные таблицы 2

Figure 3 – The approximation formula for the function a (κ) (12), ° is the data in Table 2

Явная функциональная связь числа хищников и жертв.

Интеграл (7), записанный так:

$$n - \ln(n) = r - \kappa[m - \ln(m)] = s(m, r, \kappa) \qquad (14)$$

позволяет явно выразить, например переменную n как функцию m, если использовать известное [14, С. 424] выражение

$$z = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(ak)^{k-1}}{k!} w^k, \qquad (15)$$

которое является разрешением уравнения

$$w = z\exp(-az)$$

относительно z. Взяв в соотношении (15) $a = 1$ и записав интеграл (14) в форме $n\exp(-n) = \exp(-s)$, получаем выражение функции n через функцию m и другие параметры задачи, входящие в функцию s (14):

$$n = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^{k-1}}{k!} \exp(-sk). \qquad (16)$$

Ряд (16) сходится при $s \geq 1$ и в общем случае представляет функцию n как двузначную переменной m. Последнее очевидно из графиков рис. 1.

Представленная формула (12) обоснована хоть и в большом, но ограниченном интервале изменения параметра κ. Мы не приближались слишком близко в таблице 1 к точке $\gamma = 0$. При схожих условиях (n_0, γ) $n_0 = O(1)$, $\gamma \to 0$ в работе [9, С. 37] сформулирована задача, решение которой приводит к логарифмической зависимости периода колебаний популяций от малого параметра γ ($\gamma \to 0$): $T \sim \ln(1/\gamma)$.

Следует заметить [9, С. 37], что «математическое» стремление к бесконечности нужно отличать от физического. Например, $1/\gamma$ при $\gamma \to 0$ действительно стремится к бесконечности (например, при $\gamma = 10^{-6}$ величина $1/\gamma$ действительно велика). В то же время $|\ln\gamma|$ при $\gamma \to 0$ практически остается ограниченным (например, при $\gamma = 10^{-6}$ эта величина порядка 10).

Практически с логарифмами в асимптотиках можно обращаться как с константами. К тому же выводу приходят исследователи в некоторых приложениях (например, [15, С. 265]). Поэтому приближение параметра γ к нулю теоретически (математически) должно «искривить» зависимость (10), что практически трудно заметить. Во всяком случае, аппроксимация периода колебаний численностей популяций соотношением (10) в рассмотренном диапазоне параметров оказалась настолько удачной, что не имело смысла приводить графические иллюстрации.

Следует иметь в виду, что слишком малое значение параметра γ может привести к неадекватности модели Лотка-Вольтерра, поскольку модель предполагает достаточно большое количество особей, чтобы можно было использовать дифференциальные уравнения, что свидетельствует в пользу физической трактовки малого параметра. Модель может стать неадекватной и при $\gamma \to \infty$, поскольку при этом соответствующий овал в определенном интервале времени будет проходить возле начала координат фазовой плоскости (рис. 1).

Вывод асимптотической формулы для периода колебаний популяций.

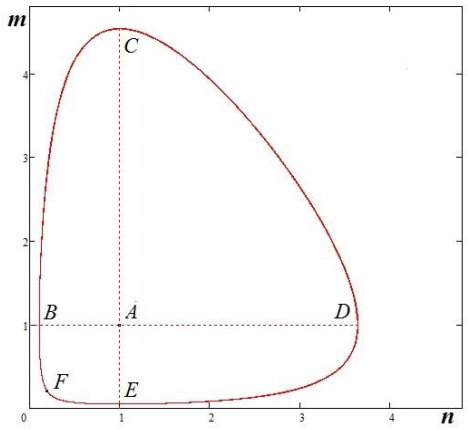


Рисунок 4 – Фазовая кривая системы (5), поясняющая вывод асимптотической формулы

Figure 4 – The phase curve of the system (5), explaining the derivation of the asymptotic formula

Получим асимптотическую формулу для периода колебаний численности популяций в нашем случае при $n_0 = m_0 = \gamma$ (8) (точка F на рис. 4). Будем оценивать «части» периода на отдельных участках замкнутой кривой $BCDEF$ рис. 4. Начнем с участка BF. На нем в силу первого уравнения (5) $dn/d\tau > 0$, т.е. на этом участке функция n монотонно возрастает. В таком случае из второго уравнения (5) следует:

$$T_{BF} = \sqrt{\kappa}\int_{\gamma}^{1} \frac{dm}{m\left[n(m)-1\right]} = \frac{\ln(1/\gamma)\sqrt{\kappa}}{1-n(m_*)} = \ln(1/\gamma)\sqrt{\kappa} + \delta, \qquad (17)$$

где мы воспользовались теоремой о среднем значении интеграла [16, С. 115]. m_* – некоторая точка из интервала $(\gamma, 1)$. Здесь остаточный член δ равен:

$$\delta = \frac{n(m_*)\sqrt{\kappa}}{1-n(m_*)} \ln\left(\frac{1}{\gamma}\right), \qquad n(m_*) < \gamma$$

Имеем

$$0 < \delta < \frac{\gamma \ln(1/\gamma)\sqrt{\kappa}}{1-n(1)}.$$

Знаменатель в этом выражении при $\gamma \to 0$ ограничен (стремится к единице), тогда как числитель стремится к нулю. Итак, имеем

$$T_{BF} = \kappa^{1/2}\ln(1/\gamma) + o(\gamma),\ \kappa = O(1). \qquad (18)$$

Аналогичным образом, взяв другое уравнение (5), получаем формулу для величины T_{FE}:

$$T_{FE} = \frac{\ln(1/\gamma)}{\sqrt{\kappa}} + o(\gamma),\ \kappa = O(1). \qquad (19)$$

На других участках контура овала рисунка 4 интегралы, связанные со временем пребывания на них, будут меньше по порядку величины найденных выражений (18), (19). Действительно, оценим значение функции m в точке C, используя интеграл (7). Имеем, подставляя $n(C) = 1$ в этот интеграл:

$$(1 + \kappa)(\gamma - \ln\gamma) = 1 + \kappa\{m(C) - \ln[m(C)]\}.$$

При $\gamma \to 0$ и $\kappa = O(1)$, что предполагаем и далее, находим: $m(C) = O[\ln(1/\gamma)]$.

В точке $n = 1$ интеграл

$$\int_{m(C)}^{1} \frac{dm}{m\left[n(m)-1\right]}$$

имеет интегрируемую особенность: $n - 1 \cong \sqrt{m(C) - m}$.

В принципе можно взять для интегрирования точку, лежащую левее точки C и достаточно близко к ней. Фактически данная точка не вызывает каких-либо осложнений при оценке соответствующего интеграла. Имеем в этом случае оценку:

$$T_{CB} = \sqrt{\kappa}\int_{m(C)}^{1} \frac{dm}{m\left[n(m)-1\right]} = \frac{\sqrt{\kappa}}{1-n(m_*)}\ln\left[\ln\left(\frac{1}{\gamma}\right)\right] = O\left\{\ln\left[\ln\left(\frac{1}{\gamma}\right)\right]\right\}.$$

Аналогично $T_{ED} = O[\ln\ln(1/\gamma)]$.

Если провести линию $m = \text{const}$ при $m > 1$, пересекающую овал рисунка 4 в двух точках, то можно отметить следующее. При этом на линии CD производная $dm/d\tau$ будет больше таковой, чем на линии BC, поскольку на ней будет больше значение переменной n (см. второе уравнение (5). Поэтому время перехода из точки D в точку C будет меньше, чем T_{CB}. В плане O оценок, имеем $T_{DC} \le O[\ln\ln(1/\gamma)]$. Мы прошли по полному циклу фазовой кривой рисунке 4. В результате наибольший асимптотический вклад в период колебаний популяций T вносят величины T_{BF} (18) и T_{FE} (19). Таким образом, асимптотическая формула для периода колебаний, как следует из зависимостей (18), (19), будет иметь вид

$$T \cong \left(\sqrt{\kappa} + \frac{1}{\sqrt{\kappa}}\right)\ln\left(\frac{1}{\gamma}\right),\ \gamma \to 0,\ \kappa = O(1), \qquad (20)$$

что согласуется с утверждением задачи из работы [9]. Поскольку параметр γ при $\gamma < 1$ связан однозначной зависимостью с постоянной r в интеграле (9), соотношение (20) целесообразно записать, используя параметр r. При $\gamma \to 0$ из соотношения (14) следует, что $\ln(1/\gamma) \cong r/(1 + \kappa)$. Поэтому асимптотическую формулу (20) можно переписать так:

$$T \cong \frac{r}{\sqrt{\kappa}},\ r \to \infty,\ \kappa = O(1).$$

Эта формула удобнее зависимости (20), поскольку не опирается на выбор конкретных начальных условий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что в определенном диапазоне параметров в процессе эволюции популяций в системе хищник-жертва период колебаний можно достаточно надежно описывать аппроксимационной формулой (13). Получена явная связь между концентрациями популяций (16).

Представлена асимптотическая формула (20) для периода колебаний в интересном для модели Лотка-Вольтерра случае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М. : Наука, 1976. 288 с.
2. Марри Дж. Нелинейные дифференциальные уравнения биологии. Лекции о моделях. М. : Мир, 1983. 400 с.
3. Волькенштейн М.В. Общая биофизика. М. : Наука, 1978. 592 с.
4. Жаботинский А.М. Концентрационные автоколебания. М. : Наука, 1974. 180 с.
5. Базыкин А.Д. Математическая физика взаимодействующих популяций. М. : Наука, 1985. 181 с.
6. Рубин А.Б., Пытьева Н.Ф., Ризниченко Г.Ю. Кинетика биологических процессов : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГУ, 1987. 304 с.
7. Антонов В.Ф., Черныш А.М., Пасечник В.И., Вознесенский С.А., Козлова Е.К. Биофизика : учеб. для студентов высш. учеб. заведений. М. : Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС. 1999. 288 с.
8. Мошинский А.И. Математическое моделирование химико-технологических и биотехнологических процессов. М. : Изд-во КНОРУС, 2021. 336 с.
9. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Наука, 1984. 272 с.
10. Эрроусмит Д., Плейс К. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Качественная теория с приложениями. М. : Мир, 1986. 240 с.
11. Гордин В.А. Дифференциальные и разностные уравнения. Какие явления они описывают и как их решать. учеб. пособие. М. : Издательский дом Высшей школы экономики, 2016. 531 с.
12. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Изд. 5. М. : Изд-во ЛКИ, 2007. 312 с.
13. Трубецков Д.И. Введение в синергетику. Хаос и структуры. Изд. 2-е, испр. и доп. М. : Изд-во Едиториал УРСС, 2004. 240 с.
14. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. М. : Наука, 1973. 736 с.
15. Ван-Дайк М. Методы возмущений в механике жидкости. М. : Мир, 1967. 312 с.
16. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. II. М. : Наука, 1969. 800 с.

Информация об авторах

А. И. Мошинский – к.т.н., доцент кафедры «Процессы и аппараты химической технологии» ФГБОУ ВО СПХФА минздрава России.

Л. Н. Рубцова – к.фарм.н., доцент кафедры, «Процессы и аппараты химической технологии» ФГБОУ ВО СПХФА минздрава России.

Е. О. Цветкова – студент 3 курса кафедры «Процессы и аппараты химической технологии» ФГБОУ ВО СПХФА минздрава России.

Information about the authors

A.I. Moshinskiy - associate prof., department of processes and apparatuses of chemical technology Saint-Petersburg State Chemical-Pharmaceutical University.

L.N. Rubtsova - associate prof., department of processes and apparatuses of chemical technology Saint-Petersburg State Chemical-Pharmaceutical University.

E.O. Tsvetkova - 3rd year student, department of processes and apparatuses of chemical technology Saint-Petersburg State Chemical-Pharmaceutical University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 195–199.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 195–199.

Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 534-8
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.044 EDN: YVEVPD

РАСТВОРЕНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ВОДЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Иван Александрович Маняхин [1], Роман Николаевич Голых [2], Елена Александровна Морозова [3], Владислав Александрович Дегтярев [4] Константин Михайлович Обрезков [5]

[1, 2, 3, 4, 5] Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск, Россия
[1] manyaxin.ivan@bk.ru, https://orcid.org/0009-0000-6168-0167
[2] grn@bti.secna.ru, https://orcid.org/0000-0002-7708-0665
[3] https://orcid.org/0000-0002-6052-9964
[4] https://orcid.org/0009-0005-8939-1830
[5] https://orcid.org/0009-0006-4847-2113

Аннотация. *Подавляющее большинство современных промышленных аппаратов для насыщения воды и других жидкостей (сатураторов) углекислым газом функционируют без применения ультразвука. В сатурационном аппарате создаются условия, которые положительно влияют на процесс насыщения водной смеси углекислотой. Ультразвуковое воздействие может увеличить производительность современных систем насыщения напитков углекислым газом. Данного эффекта можно добиться за счёт увеличения межфазной поверхности в гетерогенной системе со сплошной жидкой фазой «вода–углекислый газ». В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований ультразвуковой интенсификации массообмена в системе «газ–жидкость». Разработан экспериментальный стенд, содержащий ультразвуковой излучатель с центральными каналами, технологический объём, работающий под давлением. Получены экспериментальные данные, подтверждающие принципиальную возможность ускорения поглощения углекислого газа водой. Выработаны основные направления повышения эффективности ультразвукового воздействия, которые заключаются в оптимизации циркуляции потоков, режимов ультразвукового воздействия и избыточного давления газа.*

Ключевые слова: *ультразвук, ультразвуковые колебания, кавитация, углекислый газ, вода, растворение газов, барботаж, лабораторная установка.*

Благодарности: *Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-12-00278, https://rscf.ru/project/23-12-00278.*

Для цитирования: Растворение углекислого газа в воде с применением ультразвуковых колебаний / И. А. Маняхин [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 195–199. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.044. EDN: https://elibrary.ru/YVEVPD.

Original article

DISSOLUTION OF CARBON DIOXIDE IN WATER USING ULTRASONIC OSCILLATIONS

Ivan A. Manyakhin [1], Roman N. Golykh [2], Elena A. Morozova [3], Vladislav A. Degtyarev [4], Konstantin M. Obrezkov [5]

[1, 2, 3, 4, 5] Biysk Technological Institute (branch) of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, Biysk, Russia
[1] manyaxin.ivan@bk.ru, https://orcid.org/0009-0000-6168-0167
[2] grn@bti.secna.ru, https://orcid.org/0000-0002-7708-0665
[3] https://orcid.org/0000-0002-6052-9964
[4] https://orcid.org/0009-0005-8939-1830
[5] https://orcid.org/0009-0006-4847-2113

Abstract. *The vast majority of modern industrial equipment for saturating water and other liquids (saturators) with carbon dioxide operate without the use of ultrasound. The carbonation apparatus creates conditions that positively influence the process of saturating the aqueous mixture with carbon dioxide. Ultrasound can increase the productivity of modern beverage carbonation systems. This effect can be achieved by increasing the interfacial surface area in a heter-*

© Маняхин И. А., Голых Р. Н., Морозова Е. А., Дегтярев В. А., Обрезков К. М., 2026

ogeneous system with a continuous liquid phase (water-carbon dioxide). This article presents the results of experimental studies of ultrasonic intensification of mass transfer in a gas-liquid system. An experimental setup was developed, containing an ultrasonic emitter with central channels and a process volume operating under pressure. Experimental data were obtained confirming the fundamental possibility of accelerating the absorption of carbon dioxide by water. Key approaches to improving the efficiency of ultrasonic treatment were developed, which consist of optimizing flow circulation, ultrasonic treatment modes, and excess gas pressure.

Keywords: *ultrasound, ultrasonic vibrations, cavitation, carbon dioxide, water, gas dissolution, bubbling, laboratory setup.*

Acknowledgements: *The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-12-00278, https://rscf.ru/project/23-12-00278.*

For citation: Manyakhin, I. A., Golykh, R. N., Morozova, E. A., Degtyarev, V. A. & Obrezkov, K. M. (2026). Dissolution of carbon dioxide in water using ultrasonic oscillations. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 195-199. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.044. EDN: https: //elibrary.ru/YVEVPD.

ВВЕДЕНИЕ

Растворение газов в жидкостях является важным технологическим процессом для современной промышленности. В рамках данной статьи представлены результаты экспериментального исследования способа растворения углекислого газа в воде с помощью ультразвуковых колебаний высокой интенсивности. Углекислый газ (CO_2) является химическим соединением, которое в нормальных условиях представляет собой бесцветный газ без запаха, тяжелее воздуха (молярная масса 44,01 г/моль). Применяется в пищевой промышленности для производства алкогольных и безалкогольных напитков [1, 2]. Также используется для производства соды, которая является разрыхлителем теста для кондитерских изделий [3]. Также CO_2 может быть использован для увеличения срока хранения продуктов в упаковке, путем создания модифицированной атмосферы [4]. При этом ультразвук может быть использован для интенсификации технологического процесса растворения углекислого газа в жидкостях [5–7].

Подавляющее большинство современных промышленных аппаратов (сатураторов) для жидкостей углекислым газом функционируют без применения ультразвука. В сатурационном аппарате создаются условия, которые положительно влияют на процесс насыщения водной смеси углекислотой. Согласно закону Генри, газ лучше растворяется в жидкости лучше, если увеличить внешнее давление, поэтому в сатурационной установке поддерживается избыточное давление газа от 0,3 до 0,6 МПа. При этом понижают температуру жидкости до 4–6 ºС (принцип Ле Шательье-Брауна) [8–10]. При увеличении температуры химическое равновесие смещается в сторону эндотермической (поглощение) реакции, а при понижении – в сторону экзотермической (выделение) реакции, поэтому при повышении температуры происходит ухудшение растворимости газов в жидкостях [11, 12].

Ультразвуковое воздействие может увеличить производительность современных систем насыщения напитков углекислым газом. Данного эффекта можно добиться за счёт увеличения межфазной поверхности в гетерогенной системе со сплошной жидкой фазой «вода–углекислый газ». Исследователями было установлено, при ультразвуковом воздействии на поверхности барботажных пузырьков появляются капиллярные волны и происходит увеличение межфазной поверхности на границе раздела фаз «газ–жидкость». При 20 ºС рост барботажного пузырька наблюдается при динамической вязкости 7,4 мПа*с, однако вязкость воды меньше 1,003 мПа*с при аналогичной температуре [13, 14].

Целью настоящего исследования является определение оптимальных режимов ультразвукового воздействия на водные смеси, при которых процесс газирования воды происходит эффективнее, чем без наложения акустических колебаний высокой частоты. Задачи исследования:

- разработка лабораторной установки для насыщения воды углекислым газом с ультразвуком и без;
- выявление оптимальных режимов ультразвукового воздействия на воду, при которых диоксид углерода растворяется эффективнее, чем в безультразвуковом режиме;
- определение недостатков конструкции, разработанной лабораторной установки;
- предложить способы модификации созданной лабораторной установки для технологического процесса газирования напитков.

МЕТОДЫ

Для реализации процесса растворения газов в воде была создана лабораторная установка (рис. 1).

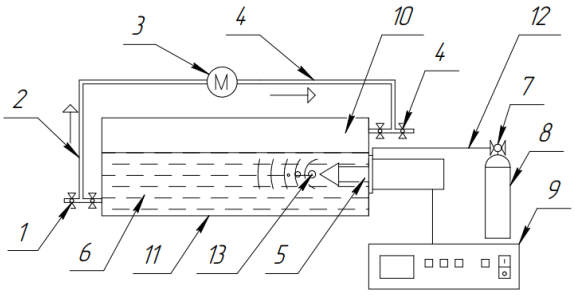


Рисунок 1 – Структурная схема лабораторной установки для растворения углекислого газа в воде: 1 – сливной кран, 2 – канал подачи воды к насосу, 3 – насос, 4 – канал для удаления воды из насоса, 5 – ультразвуковая колебательная система, 6 – жидкая фаза (вода), 7 – редуктор углекислого газа, 8 – баллон углекислоты, 9 – электронный генератор, 10 – газовая фаза (углекислый газ), 11 – технологический объём, 12 – канал подачи углекислого газа, 13 – барботажный пузырёк

Figure 1 – Structural diagram of a laboratory setup for dissolving carbon dioxide in water: 1 – drain valve, 2 – water supply channel to the pump, 3 - pump, 4 – channel for removing water from the pump, 5 – ultrasonic oscillating system, 6 – liquid phase (water), 7– carbon dioxide reducer, 8 – carbon dioxide cylinder, 9 – electronic generator, 10 – gas phase (carbon dioxide), 11 – technological volume, 12 – carbon dioxide supply channel, 13 – bubbling bubble

Разработанная лабораторная установка состоит из технологического объёма (14,85 л), системы рециркуляции воды, ультразвуковой колебательной системы (ультразвуковой излучатель с системой центральных каналов для подачи растворяемого газа), электронного

генератора, системы подачи углекислого газа и весов для контроля массы технологического объёма.

Система рециркуляции воды состоит из канала подачи воды, насоса (ELfoC N1-R) и канала удаления воды. Принцип работы данной системы состоит в непрерывном примешивании жидкодисперсной среды в технологическом объёме (скорость потока жидкости 11,7 л/мин). Вода удаляется из области, где интенсивность ультразвуковой кавитации минимальна и подаётся в локацию, где происходит смешивание пузырьков, полученных в ходе ультразвуковой кавитации и барботажа воды углекислым газом.

Для ультразвукового воздействия на жидкую дисперсную среду используется специальный УЗ излучатель с центральным каналом. По данному каналу углекислый газ под давлением доставляется в технологический объём. Для проведения экспериментов использовался электронный генератор для ультразвуковых колебательных систем серии «Волна-М» [15]. Газовая фаза подаётся через канал подачи углекислого газа из баллона с газом в сжиженном состоянии. Весы, входящие в состав лабораторной установки необходимы для контроля уровня воды в технологическом объёме. Ультразвуковая система должна полностью быть погружена в воду, так как жидкость создаёт гидростатическую нагрузку на УЗ излучатель. Ультразвуковые колебательные системы (УЗКС), которые настроены на работу с жидкостями, могут выйти и строя из-за малой нагрузки, находясь в газовой фазе, без жидкости.

Эксперименты по насыщению воды углекислым газом проводились при начальной температуре жидкости 20 ºС (измерено с помощью мультиметра APPA 99II). В ходе экспериментов происходило заполнение технологического объёма водой на 70 % от максимального (10,4 кг), так как в таком случае УЗКС полностью погружена в жидкость и площадь контакта воды с углекислым газом максимальна. На следующем этапе эксперимента производился запуск рециркуляционного насоса и создание избыточного давления в технологическом объёме путем установки необходимого давления с помощью углекислотного редуктора (УР-6-6), размещённого на баллоне с углекислым газом. Было проведено 3 эксперимента без ультразвука при избыточном давлении 0,05 МПа. Второй эксперимент проводился при 0,15 МПа. Третий эксперимент тоже проводился при избыточном давлении 0,3 МПа, так как данное значение параметра является минимальным при производстве газированных напитков.

Вторая серия экспериментов проводилась при помощи ультразвуковых колебаний высокой интенсивности. При этом избыточное давление в технологическом объёме поддерживалось 0,05 МПа. Уровень выходной мощности ультразвукового аппарата в ходе экспериментов поддерживался 70 % от максимальной с целью обеспечения стабильности резонансной частоты. При этом проводилась рециркуляция жидкости, как и в серии экспериментов без ультразвука. Особенностью экспериментов по насыщению воды углекислым газом с ультразвуком является то, что сначала включается ультразвуковое воздействие, затем в технологическом объёме создаётся атмосфера из углекислого газа.

Определение содержания углекислого газа, растворенного в воде, проводилось титриметрическим методом [16].

Содержание свободной углекислоты определяется по общей кислотности за вычетом свободной кислотности и кислотности, обусловленной слабыми нелетучими кислотами. В предоставленных на анализ пробах свободная кислотность $C_{св}$ и кислотность, обусловленная слабыми нелетучими кислотами $C_{снк}$, равны 0 (при добавлении метилоранжа к воде цвет стал сразу желтый). Общую кислотность $Q_{общ}$ рассчитывали по формуле (1):

$$C_{общ} = 1000\frac{CKV_T}{V}\ , \qquad (1)$$

где C – молярная концентрация гидроксида натрия, моль/л;

K – поправочный коэффициент;

$V_т$ – объем раствора гидроксида натрия, пошедший на титрование, мл;

V – объем пробы воды, взятой для анализа, мл.

Содержание свободной углекислоты определяли по формуле (2):

$$C(CO_2) = 44\left(C_{общ} - C_{св} - C_{снк}\right), \qquad (2)$$

где 44 – коэффициент пересчета.

Титрование проводилось с объёмом 100 мл водной смеси и раствора NaOH.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты экспериментов с применением ультразвука приведены в таблице 1. Для исследования химического состава жидкодисперсной системы «вода–углекислый газ» отбиралось по три образца объёмом 500 мл для каждого из экспериментов с периодичностью не более 1 минуты. Всего было проведено 5 экспериментов, получено 15 образцов. Концентрация углекислого газа была также измерена спустя 2 часа после проведения экспериментов, результаты представлены в таблице 2. Образцы хранили в закрытых пластиковых бутылках при комнатной температуре.

Таблица 1 – Концентрация CO_2 в образцах воды / Table 1 – CO_2 concentration in water samples

Наименование образца	Концентрация ммоль/дм^3 ($C_{общ}$)	Концентрация мг/дм^3	Среднее значение концентрации, мг/дм^3
Без УЗ 0,5 атм № 1	25,14	1106±221	1133
Без УЗ 0,5 атм № 2	25,14	1106±221	
Без УЗ 0,5 атм № 3	26,95	1186±237	
Без УЗ 1,5 атм № 1	38,67	1701±340	1719
Без УЗ 1,5 атм № 2	39,05	1718±343	
Без УЗ 1,5 атм № 3	39,52	1739±348	
С УЗ 0,5 атм № 1	28,76	1266±253	1260
С УЗ 0,5 атм № 2	28,38	1249±250	
С УЗ 0,5 атм № 3	28,76	1266±253	

Таблица 2 – Концентрация CO_2 в образцах воды через 2 часа

Table 2 – CO_2 concentration in water samples after 2 hours

Наименование образца	Концентрация ммоль/дм^3 ($C_{общ}$)	Концентрация мг/дм^3	Среднее значение концентрации, мг/дм^3
Без УЗ 0,5 атм № 1	23,81	1048±210	1042
Без УЗ 0,5 атм № 2	23,81	1048±210	
Без УЗ 0,5 атм № 3	23,43	1031±206	
Без УЗ 1,5 атм № 1	38,10	1676±335	1599
Без УЗ 1,5 атм № 2	35,52	1563±313	
Без УЗ 1,5 атм № 3	35,43	1559±312	
С УЗ 0,5 атм № 1	27,14	1194±239	1155
С УЗ 0,5 атм № 2	26,19	1152±230	
С УЗ 0,5 атм № 3	25,43	1119±224	

ОБСУЖДЕНИЕ

Ультразвуковая обработка мощностью 70 % увеличивает концентрацию растворенного в воде углекислого газа на 11 %. При сравнении данных, полученных при анализе одних и тех же образцов, замечено, что в течение двух часов средняя концентрация CO_2 снижается на 7–11 %.

Основным ограничением для получения полноценных экспериментальных данных для процесса насыщения воды углекислым газом является недостаточное избыточное давление в технологическом объёме при непрерывном ультразвуковом воздействии, так как нельзя сопоставить с результатами, которые были получены при отсутствии ультразвукового воздействия.

Таким образом, получены экспериментальные данные, подтверждающие принципиальную возможность ускорения поглощения углекислого газа водой. Для дальнейшего повышения эффективности ультразвукового воздействия необходимо оптимизировать циркуляцию потоков, режимы ультразвукового воздействия и избыточное давление газа.

Дальнейшие исследования будут направлены на создание новой лабораторной установки, которая позволит работать с давлением не менее 0,4 МПа и непрерывном ультразвуковом воздействии на жидкодисперсную систему «вода–углекислый газ».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан экспериментальный стенд, содержащий ультразвуковой излучатель с центральными каналами, технологический объём, работающий под давлением. Получены экспериментальные данные, подтверждающие принципиальную возможность ускорения поглощения углекислого газа водой. Выработаны основные направления повышения эффективности ультразвукового воздействия, которые заключаются в оптимизации циркуляции потоков, режимов ультразвукового воздействия и избыточного давления газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2727048 C2 Российская Федерация, МПК B67D 1/00. Концентраты напитков под давлением, а также устройства и способы получения напитков из указанных концентратов : № 2017121117 : заявл. 29.01.2016 : опубл. 17.07.2020 / Д. Пеирсман, С. Вандекеркхов, Ж. Пеллод, Н. Дэвис, Бюл. № 20. 13 с.

2. Камалова Д.А. Технологии применения уловленного углекислого газа (CO2) / Д.А. Камалова, Р.Р. Султанкиреева, С.Ф. Хафизова // Академическая публицистика. 2024. № 4–2. С. 106–113.

3. Лаптева А.В. Эмиссии CO2 при производстве кальцинированной соды и извести / А.В. Лаптева, В.Г. Лисиенко, Ю.Н. Чесноков // Проблемы экоинформатики : Материалы XV Международного симпозиума, Москва, 06–08 декабря 2022 года / Под редакцией Ф.А. Мкртчяна. Москва : Московское НТО радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2022. С. 179–183.

4. Active food packaging to control carbon dioxide / D.S. Lee, H.J. Wang, C. Jaisan, D.S. An // Packaging Technology and Science. 2022. Vol. 35, No. 3. P. 213–227. DOI: 10.1002/pts.2627.

5. Viejo C.G. [et al.]. The effect of sonication on bubble size and sensory perception of carbonated water to improve quality and consumer acceptability // Beverages. 2019. Т. 5. № 3. С. 58.

6. Семенов И.А. Влияние ультразвука на растворение углекислого газа в воде / И.А. Семенов, Б.А. Ульянов, Н.Н. Кулов // Теоретические основы химической технологии. 2011. Т. 45, № 1. С. 23–27.

7. Влияние ультразвука на массоотдачу в жидкой фазе при свободном всплытии пузырька газа / И.А. Семенов, Б.А. Ульянов, Д.П. Свиридов, А.С. Камаев // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2013. № 2. С. 57–61.

8. Авторское свидетельство № 1143384 A1 СССР, МПК A23L 2/54, A23L 2/00, B01F 5/00. Установка для насыщения воды и напитков диоксидом углерода : № 3663008 : заявл. 15.11.1983 : опубл. 07.03.1985 / В.Н. Гладкий, А.Н. Тимонин, А.Я. Герасимова [и др.] ; заявитель Киевский технологический институт легкой промышленности.

9. Установки для деаэрации и насыщения воды углекислым газом. Воронеж. URL: https://studfile.net/preview/2824851/page:3. (Дата обращения: 08.12.2025).

10. Тудвачев А.В. Аналитические и численные расчеты растворения CO_2 в подземных водах Северо-Ставропольского ПХГ в случае его возможного захоронения / А.В. Тудвачев, В.В. Тихомиров // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2016. № 4. С. 37–52. Doi: 10.21638/11701/spbu07.2016.404.

11. Элементарный учебник физики. В 3 т. Т. 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика / под ред. Г.С. Ландсберга. Москва : Физматлит, 2023. 608 с.

12. Родин С.В. О принципе Ле Шателье-Брауна в курсе физики технического ВУЗа / С.В. Родин, Ю.И. Савилова // Материалы XIII Международной научно-практической интернет-конференции, Мозырь, 25-26 марта 2021. / Мозырский государственный педагогический университет им. И.П. Шамякина ; редкол.: И.Н. Ковальчук [и др.]. Мозырь, 2021. С. 59–60.

13. Influence of liquid viscosity on growth of the surface of an air bubble subjected to ultrasonic cavitation / R.N. Golykh [et al.] // Physics of Fluids. 2025. Т. 37, № 12. 122106.

14. Effect of ultrasonic cavitation on the gas-liquid in-

terface under forced aeration / R.N. Golykh, J.B. Carrat, V.N. Khmelev [et al.] // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2024. Vol. 65, No. 6. P. 1082–1095. DOI: 10.1134/S0021894424 060075.

15. Ультразвуковой технологический аппарат серии «Волна-М». Бийск. URL: https://u-sonic.ru/catalog/ apparaty_dlya_uskoreniya_protsessov_v_zhidkikh_sredakh/ volna_m2. (Дата обращения: 08.12.2025).

16. ЦВ 1.01.17-2004. Качество воды. Методика выполнения измерений содержания свободной углекислоты в пробах питьевых и природных вод. Титриметрический метод. Санкт-Петербург, 2005, 10 с.

Информация об авторах

И. А. Маняхин – преподаватель кафедры методов и средств 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 методов и средств измерений и автоматизации, ведущий научный сотрудник отдела научно-исследовательской работы сотрудников и преподавателей Бийского технологического института (филиала) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Е. А. Морозова – кандидат биологических наук, доцент кафедры химической технологии энергонасыщенных материалов и изделий Бийского технологического института (филиала) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

В. А. Дегтярев – студент группы ПС-51, кафедра методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института (филиала) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

К. М. Обрезков – студент группы ИСТ-41, кафедра методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института (филиала) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Information about the authors

I.A. Manyakhin - Lecturer at the Department of Methods and Means of Measurement and Automation at 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 Means of Measurement and Automation, Leading Researcher of the Department of Research Work of Staff and Faculty of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.

E.A. Morozova - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology of Energy-Intensive Materials and Products of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.

V.A. Degtyarev - Student of Group PS-51, Department of Methods and Means of Measurement and Automation, Biysk Technological Institute (branch) of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.

K.M. Obrezkov - Student of Group IST-41, Department of Methods and Means of Measurement and Automation, Biysk Technological Institute (branch) 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 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 200–206.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 200–206.

Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 621.928.6:517.551
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.031 EDN: OVVFDZ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ЧАСТИЦ МУЛЬТИВИХРЕВЫМ КЛАССИФИКАТОРОМ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ PYTHON НА ОСНОВЕ CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Оксана Сергеевна Дмитриева [1], Андрей Владимирович Дмитриев [2], Гузель Рамилевна Бадретдинова [3], Алан Алекович Валеев [4]

[1] Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия
[2, 3, 4] Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
[1] ja_deva@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6221-0167
[2] ieremiada@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-8979-4457
[3] nice.badretdinova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5910-5312
[4] alan002@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-2793-8553

Аннотация. *Эффективность сухих классификаторов зависит от правильности расчетов, выполненных при проектировании оборудования, выбора его конструктивного исполнения, условий настройки и эксплуатации. Современные методы численного анализа, а также методы обработки полученных данных с помощью нейронных сетей в Python позволяют наиболее точно и эффективно изучить процесс классификации. Целью работы является оценка эффективности фракцционирования частиц мультивихревым классификатором путем изучения набора ранее полученных данных на основе CFD-моделирования в Ansys Fluent и методов их обработки в Python. Были подобраны функции аппроксимации, наиболее адекватно описывающие зависимость эффективности работы разработанного классификатора от размера частиц и скорости их подачи. Определены поправочные коэффициенты функций и среднеквадратичное отклонение. Методом наименьших квадратов определяются коэффициенты четырех аппроксимирующих функций. Это модифицированная сигмоидальная функция с осцилляцией, комбинация экспоненциальных функций, рациональная функция с осцилляцией и функция Гомперца с осцилляцией. Отмечена особенность изучаемых функций, в которых при скорости 12 и 16 м/с коэффициенты аппроксимации определяются с ошибкой. Для больших скоростей подачи частиц в классификатор наблюдается рост значения СКО, поэтому был написан код в Python для увеличения количества данных, необходимых для анализа. Прогнозирование с использованием функции Гомперца с осцилляцией демонстрирует наименьшее значение СКО в диапазоне значений 0,0163–0,0376 для исследуемых условий скорости подачи воздуха 2–16 м/с и частиц диаметром от 5 до 100 мкм. Оценки погрешности аппроксимации, полученные с помощью решения сигмоидальной функции с осцилляцией, демонстрируют неудовлетворительные результаты. Полученные данные предоставляют практический интерес для прогнозирования их связи с геометрическими размерами мультивихревого классификатора и технологическими параметрами. Это позволит подобрать и спроектировать классификатор по разным признакам в соответствии с техническим заданием на проектирование.*

Ключевые слова: *фракционирование, классификатор, эффективность, аппроксимация данных, обработка данных, нейронная сеть.*

Благодарности: *Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан (соглашение от 16.12.2024 г. № 113/2024-ПД).*

Для цитирования: Дмитриева О. С., Дмитриев А. В., Бадретдинова Г. Р., Валеев А. А. Прогнозирование эффективности фракционирования частиц мультивихревым классификатором с помощью программной среды python на основе CFD-моделирования // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 200–189. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.031. EDN: https://elibrary.ru/OVVFDZ.

© Дмитриева О. С., Дмитриев А. В., Бадретдинова Г. Р., Валеев А. А., 2026

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ЧАСТИЦ МУЛЬТИВИХРЕВЫМ КЛАССИФИКАТОРОМ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ PYTHON НА ОСНОВЕ CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Original article

FORECASTING EFFICIENCY OF PARTICLE FRACTIONATION BY A MULTI-VORTEX CLASSIFIER USING A PYTHON SOFTWARE ENVIRONMENT BASED ON CFD-MODELING

Oksana S. Dmitrieva [1], Andrey V. Dmitriev [2], Guzel R. Badretdinova [3], Alan A. Valeev [4]

[1] Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
[2, 3, 4] Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
[1] ja_deva@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6221-0167
[2] ieremiada@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-8979-4457
[3] nice.badretdinova@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5910-5312
[4] alan002@mail.ru, https://orcid.org/0009-0009-2793-8553

Abstract. *The effectiveness of dry classifiers depends on the accuracy of calculations made during equipment design, the choice of its structural implementation, and the conditions of setup and operation. Modern numerical analysis methods, as well as methods for processing got data using neural networks in Python, allow for the most accurate and effective study of the classification process. The aim of the work is to evaluate the efficiency of particle fractionation by a multi-vortex classifier through the study of a set of previously got data based on CFD modeling in Ansys Fluent and methods of their processing in Python. Approximation functions were selected that most adequately describe the dependence of the efficiency of the developed classifier on particle size and feed rate. Correction coefficients of the functions and root-mean-square deviation were determined. The coefficients of four approximating functions are determined by the least squares method. These are a changed sigmoidal function with oscillation, a combination of exponential functions, a rational function with oscillation, and a Gompertz function with oscillation. A feature of the studied functions was noted, in which the approximation coefficients are determined with an error at speeds of 12 and 16 m/s. For higher particle feed rates into the classifier, an increase in the MSD value is observed, so a code was written in Python to increase the amount of data required for analysis. Forecasting using the Gompertz function with oscillation shows the lowest MSD value between 0.0163–0.0376 for the studied conditions of air feed rate of 2–16 m/s and particles with a diameter of 5 to 100 microns. Approximation error estimates got using the sigmoidal function with oscillation solution show unsatisfactory results. The got data provide practical interest for predicting their relationship with the geometric dimensions of the multi-vortex classifier and technological parameters. This will allow selecting and designing a classifier according to various criteria under the design specification.*

Keywords: *fractionation, classifier, efficiency, data approximation, data processing, neural network*.

Acknowledgements: *The work was carried out at the expense of a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, provided to young candidates of sciences (postdoctoral fellows) for the purpose of defending their doctoral dissertation, completing research, as well as performing work functions in scientific and educational organizations of the Republic of Tatarstan within the framework of the State Program of the Republic of Tatarstan "Scientific and Technological Development of the Republic of Tatarstan (agreement dated December, 16, 2024, No. 113/2024-PD).*

For citation: Dmitrieva, O. S., Dmitriev, A. V., Badretdinova, G. R. & Valeev, A. A. (2026). Forecasting the efficiency of particle fractionation by a multi-vortex classifier using a Python software environment based on CFD-modeling. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 200-189. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.031. EDN: https: //elibrary.ru/OVVFDZ.

ВВЕДЕНИЕ

Сортировка и классификация мелких частиц является важным этапом получения порошков в различных производственных процессах химической, пищевой, фармацевтической отрасли и металлургии. Сыпучие материалы, подвергаемые обработке, как правило, имеют широкий диапазон размеров после измельчения, и этот диапазон может меняться в зависимости от свойств материала и преобладающих условий его обработки на более ранних этапах [1]. Поскольку порошки с узким распределением размеров частиц часто имеют лучшие физические и химические свойства, такие как растворимость, текучесть, и стабильность, эффективная классификация и контроль размера частиц действительно играют важную роль в улучшении качества и ценности производимых порошков [2].

Есть много разных аппаратов, используемых для классификации, некоторые из них работают под влиянием центробежных сил [3, 4], другие используют гравитационные силы [5, 6] или магнитные [7], эффективность сепарации в которых зависит от конструктивного исполнения, оптимальной входной скорости воздуха и свойств самого материала. Выбор подходящего устройства и его правильная настройка играют существенное значение в достижении этих целей, поскольку часто неправильные настройки могут привести к чрезмерному перемолу материала, загрязнению воздушной среды, агломерации частиц и неэффективной работе в целом. Также проблема заключается в том, что большинство классификаторов сталкивается с трудностями при разделении мелких частиц под действием гравитационных или центробежных сил. Следовательно, существует острая необходимость в проведении численных экспериментов, охватывающих широкий диапазон вариаций гранулометрического состава, имеющих важное значение для точного и эффективного изучения процесса классификации, особенно в количественном выражении [8].

Вышеизложенное свидетельствует об актуальности совершенствования оборудования для воздушной классификации сыпучих материалов с примене-

нием вычислительных методов, чтобы понять и улучшить их эффективность работы. Благодаря быстрому развитию алгоритма и компьютерных наук все более современные методы применяются в моделировании и оптимизации конструкций аппаратов, а также управлении ими. Так, например, данные о размере частиц используют для автоматической настройки оборудования и оптимизации процессов [9].

Авторами был разработан мультивихревой классификатор для разделения частиц по размеру и плотности (рис. 1), в межтрубном пространстве которого образуется множество вихревых столбов [10].

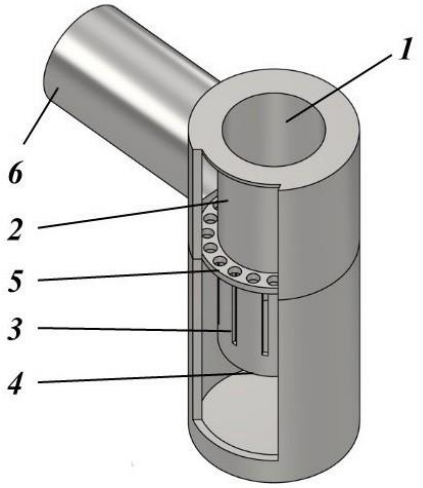


Рисунок 1 – Разработанное устройство для классификации частиц: *1* – вход; *2* – межтрубное пространство; *3* – прямоугольные проходы; *4* – конический патрубок; *5* – стабилизатор вихрей; *6* – выход

Figure 1 – The developed device for particle classification: *1* – inlet; *2* – intertubular space; *3* – rectangular passages; *4* – conical nozzle; *5* – vortex stabilizer; *6* – outlet

Численные эксперименты были проведены посредством моделирования мультивихревого классификатора в Ansys Fluent. Прогностическая эффективность фракционирования сыпучего материала на основе силикагеля от входной скорости газового потока и требуемой крупности граничного зерна представлена в работе [10, 11]. В работе было выявлено наличие параболических пиков при входной скорости газового потока 2, 4, 8 и 12 м/с максимум фракционной эффективности составил 41,8 % при диаметре частиц x = 30 мкм, 29,8 % при x = 25 мкм, 32,9 % при x = 15 мкм и 14,7 % при x = 10 мкм соответственно. При скорости 16 м/с пик не был зафиксирован, при этом в области диаметров частиц размером 70–80 мкм такой максимум появлялся. Полученные кривые эффективности могли бы быть использованы для решения целого ряда задач в зависимости от изменения тех или иных параметров процесса, если их определить функциями и представить в аналитическом виде. Эта работа направлена на улучшение оценки эффективности мультивихревого классификатора путем прогнозирования более точных результатов его работы, что предоставляет ценную информацию при проектировании.

Целью работы является оценка эффективности работы мультивихревого классификатора путем изучения деталей набора ранее полученных данных на основе CFD-моделирования и методов их обработки. В непосредственные задачи входит подбор функции, наиболее адекватно описывающей эффективность работы классификатора, определение поправочных коэффициентов, учитывающих значение, к которому стремится функция в исследуемом диапазоне размеров частиц с минимальной погрешностью измерений. Выбор критерия близости определяется методом аппроксимации.

МЕТОДЫ

Появление искусственного интеллекта и передовых технологий открывает новые возможности для улучшения прогнозирования точности полученной фракции с помощью методологий, основанных на обработке данных. Эти методы анализируют большой объем данных, полученных из численного эксперимента, чтобы выявить закономерности между параметрами процесса, такими как размер дисперсной фазы, скорость дисперсионной среды, конструктивными параметрами устройства и эффективностью фракционирования. Это позволяет использовать полученные результаты анализа и обработки данных для прогнозирования точности фракционирования в зависимости от заданных условий работы для оптимизации параметров работы классификатора на стадии его проектирования.

Результаты численного моделирования в Ansys Fluent получены для мультивихревого классификатора диаметром 95 мм, высотой 190 мм, межтрубное пространство образовано трубой диаметром 65,6 мм и высотой 160 мм, толщина внешней и внутренней трубы равны 5 и 2,5 мм соответственно. Диаметр основания конического патрубка 8 мм, диаметр круглых отверстий в стабилизаторе 8 мм (всего 20 шт.). Высота конического патрубка 22 мм; количество прямоугольных проходов 10 шт. размером 60×3,5 мм. При моделировании на дне устройства задавалось условие прилипания частиц силикагеля плотностью 1075 кг/м^3. Среда, сжимаемая воздух. На входе задавалась скорость, на выходе – атмосферное давление. В расчетах использовалась модель турбулентности k-w SST.

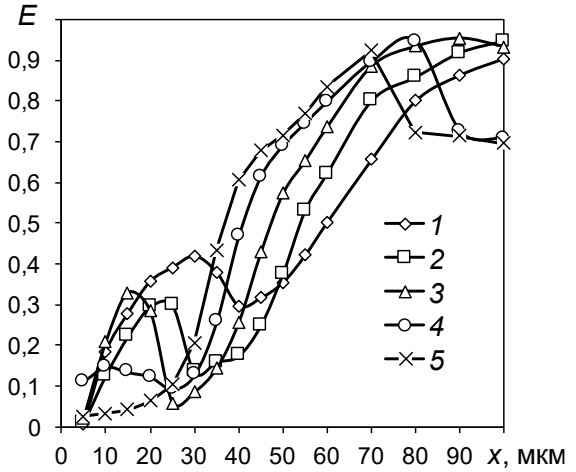


Рисунок 2 – Данные для анализа по эффективности фракционирования частиц разного диаметра при скорости подачи материала, м/с: *1* – 2; *2* – 4; *3* – 8; 4 – 12; *5* – 16

Figure 2 – Data for analysis on the efficiency of fractionation of particles of different diameters at the feed rate of the material, m/s: *1* – 2; *2* – 4; *3* – 8; 4 – 12; *5* – 16

Предварительная обработка данных численного анализа является важным этапом оценки фракционирования частиц с помощью нейронной сети на Python. Из файла Excel были выгружены данные по эффективности фракционирования частиц на основе силикагеля в диапазоне от 5 до 100 мкм разработанным классификатором в зависимости от скорости подачи материала, графическое представление результатов представлено на рис. 2. Запишем входное значение *x*, которое отвечает диаметру частиц силикагеля, так что величина 1 соответствует 100 мкм. Величина *y* представляет выходные значения, которые всегда находятся в диапазоне от 0 до 1 и соответствуют эффективности фракционирования.

Для анализа и обработки данных (рис. 2) используется код, написанный на Python, подключая к нему различные библиотеки. Так, например, Pandas используется для обработки и анализа табличных данных Excel, предоставляя удобные структуры данных для манипуляций с ними. NumPy предоставляет поддержку для работы с массивами и матрицами, а также математическими функциями. Scipy.optimize предоставляет несколько часто используемых алгоритмов оптимизации. Matplotlib используются для визуализации данных и результатов анализа [12].

В качестве функции активации в нейронных сетях используются разные модели, позволяя сети представлять сложные закономерности в данных. В рамках настоящего исследования выбраны функции обработки данных: 1) модифицированная сигмоидальная функция с осцилляцией

$$E = \frac{1}{1+\exp^{-a(x-b)}} + c \cdot \exp^{-d(x-e)^2} \cdot \sin\left(f\left(x-e\right)\right), \quad (1)$$

2) комбинация экспоненциальных функций

$$E = 1 - \exp^{-a \cdot x} + b \cdot \exp^{-c(x-d)^2}, \quad (2)$$

3) рациональная функция с осцилляцией

$$E = \frac{x}{x+a} + b \cdot \exp^{-c(x-d)^2} \cdot \sin\left(e\left(x-d\right)\right), \quad (3)$$

4) функция Гомперца с осцилляцией

$$E = \exp^{-a \cdot \exp^{-bx}} + c \cdot \exp^{-d(x-e)^2} \cdot \sin\left(f\left(x-e\right)\right), \quad (4)$$

где *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* – это коэффициенты, характеризующие распределение функции.

При решении задачи методами аппроксимации всегда встает задача правильного выбора методов обработки функций [13]. Ключевым критерием точности аппроксимации выступает среднеквадратичное отклонение (СКО), количественно выражающее степень соответствия функции реальным значениям эффективности фракционирования. Выбранный метод наименьших квадратов минимизирует суммарное СКО между данными.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Тестирование результата анализа точности полученных путем численного эксперимента данных и предлагаемых функций аппроксимации для прогнозирования эффективности фракционирования на наборах данных продемонстрированы на рис. 3–6. Подобранные коэффициенты для функций (1)–(4) и среднее квадратичное отклонение сведены в таблицу 1.

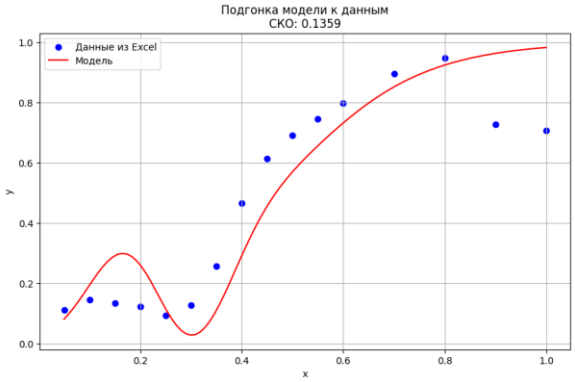


Рисунок 3 – Анализ результатов проверки данных CFD и предлагаемой функции по эффективности фракционирования частиц разного диаметра при скорости подачи материала 12 м/с (модифицированная сигмоидальная функция с осцилляцией)

Figure 3 – Analysis of the results of checking CFD data and the proposed function on the efficiency of fractionation of particles of different diameters at a material feed rate of 12 m/s (modified sigmoid function with oscillation)

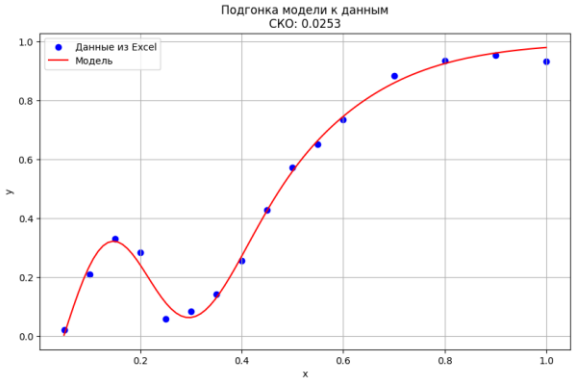


Рисунок 4 – Анализ результатов проверки данных CFD и предлагаемой модели по эффективности фракционирования частиц разного диаметра при скорости подачи материала 8 м/с (функция Гомперца с осцилляцией)

Figure 4 – Analysis of the results of checking CFD data and the proposed model on the efficiency of fractionation of particles of different diameters at a material feed rate of 8 m/s (Gompers function with oscillation)

Результаты показали, что функции (1), (2) и (3) плохо описывают результаты из базы данных Excel, сформированные на основе CFD-моделирования. Особенно сильно это наблюдается при высоких скоростях подачи материала 12–16 м/с, закладывая ошибку при подборе (рис. 3, 5).

Таблица 1 – Подобранные коэффициенты аппроксимирующей функции и среднее квадратичное отклонение (СКО)

Table 1 – Selected coefficients of the approximating function and the mean square deviation (MSD)

Параметры	Модифицированная сигмоидальная функция с осцилляцией	Комбинация экспоненциальных функций	Рациональная функция с осцилляцией	Функция Гомперца с осцилляцией
2 м/с	*a* = 4,1257, *b* = 0,5518, *c* = 0,0829, *d* = –3,2024, *e* = 0,7047, *f* = 10,1170, СКО = 0,0228	*a* = 1,4302, *b* = 19772,5546, *c* = 493,4681, *d* = 699,6156, СКО = 0,1072	*a* = 0,4725, *b* = – 491,4725, *c* = 11,9401, *d* = 398,1029, *e* = 43,6929, СКО = 0,1235	*a* = 4,4762, *b* = 3,5509, *c* = –0,3970, *d* = 1,7022, *e* = –0,2842, *f* = 9,2494, СКО = 0,0163
4 м/с	*a* = 6,8341, *b* = 0,5358, *c* = 0,2077, *d* = 4,3261, *e* = 0,0660, *f* = 12,8116, СКО = 0,0212	*a* = 1,3785, *b* = 6746,5072, *c* = 2109,8991, *d* = –88031,9853, СКО = 0,1535	*a* = 0,5201, *b* = –594,0721, *c* = 14,3218, *d* = 472,5039, *e* = 50,4460, СКО = 0,1829	*a* = 10,2469, *b* = 5,2199, *c* = 0,2834, *d* = 5,2282, *e* = 0,0547, *f* = 11,4393, СКО = 0,0223
8 м/с	*a* = 7,4867, *b* = 0,4671, *c* = – 0,3015, *d* = 39,7482, *e* = 0,2383, *f* = 13,6824 СКО = 0,0346	*a* = 1,6080, *b* = -2151,8114, *c* = 1996,1986, *d* = -92831,8827 СКО = 0,1737	*a* = 0,4293, *b* = –613,2205, *c* = 14,8482, *d* = 490,8419, *e* = 53,1522 СКО = 0,2068	*a* = 16,6793, *b* = 6,7152, *c* = 0,3829, *d* = 16,4689, *e* = 0,0495, *f* = 13,9022, СКО = 0,0253
12 м/с	*a* = 7,4867, *b* = 0,4671, *c* = -0,3015, *d* = 39,7482, *e* = 0,2383, *f* = 13,6824, СКО = 0,1359	*a* = 1,6870, *b* = -381,1903, *c* = 10,3564, *d* = 453,5346, СКО = 0,1528	*a* = 0,4069, *b* = –320,1998, *c* = 7,8762, *d* = 264,9571, *e* = 29,1102, СКО = 0,1814	*a* = 41,5442, *b* = 9,2587, *c* = 0,0293, *d* = –0,1005, *e* = –5,1471, *f* = 0,5483, СКО = 0,0390
16 м/с	*a* = 6,8341, *b* = 0,5358, *c* = 0,2077, *d* = 4,3261, *e* = 0,0660, *f* = 12,8116 СКО = 0,2423	*a* = 1,7445, *b* = –385,8853, *c* = 10,2863, *d* = 454,4656, СКО = 0,1560	*a* = 0,3941, *b* = –339,9389, *c* = 8,3815, *d* = 281,9554, *e* = 31,2953, СКО = 0,1819	*a* = 41,5442, *b* = 9,2587, *c* = 0,0293, *d* = –0,1005, *e* = –5,1471, *f* = 0,5483, СКО = 0,0877

Для дальнейшего решения дисбаланса прогностических данных можно использовать методы увеличения данных вдвое и более на этапе предварительной обработки Excel, что позволит улучшить представления классов меньшинств за счет генерирования вариаций существующих данных. Таким образом, если СКО больше заданного СКО, то прибавляются еще точки в соответствии с выражениями $x' = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}$, $y' = \frac{y_i + y_{i+1}}{2}$, где i – номер итерации. Таким образом, в Python был записан код, минимизирующий СКО до заданных значений. Результаты показывают, что аппроксимация функцией Гомперца с осцилляцией демонстрирует лучшее значение СКО (рис. 4) на 10–15% по сравнению с функциями (2) и (3) и в 3 раза меньше по сравнению с функцией (1) в диапазоне скоростей 12–16 м/с.

Подобранные параметры модели с функцией Гомперца с осцилляцией после применения увеличения данных следующие при скорости 16 м/с: *a* = 1,2458, *b* = 1,1237, *c* = 4,8247, *d* = 9,8144, *e* = 0,3668, *f* = 0,4901, СКО = 0,0376 (рис. 6). Аналогично, для функции (1) при 16 м/с подобраны коэффициенты: *a* = 1,5099, *b* = 0,5434, *c* = 5,2590, *d* = 9,6116, *e* = 0,3647, *f* = 0,4562, СКО = 0,0374, при скорости 12 м/с параметры *a* = 0,7172, *b* = 0,4246, *c* = 5,6519, *d* = 8,2234, *e* = 0,4342, *f* = 0,4289, СКО = 0,0417.

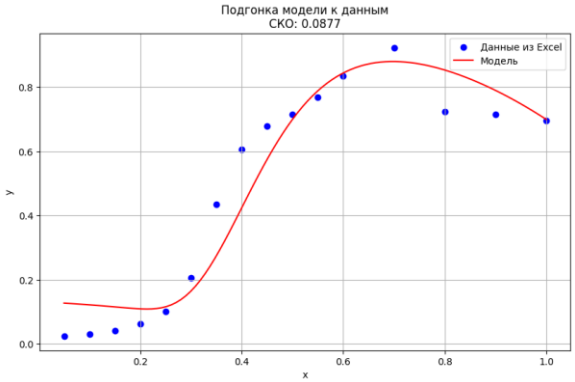


Рисунок 5 – Анализ результатов проверки данных CFD и предлагаемой функции по эффективности фракционирования частиц разного диаметра при скорости подачи материала 16 м/с (функция Гомперца с осцилляцией)

Figure 5 – Analysis of the results of checking CFD data and the proposed function on the efficiency of fractionation of particles of different diameters at a material feed rate of 16 m/s (Gompertz function with oscillation)

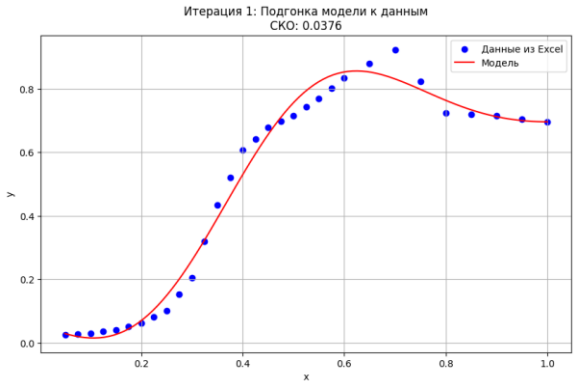


Рисунок 6 – Анализ результатов проверки данных CFD и предлагаемой функции по эффективности фракционирования частиц разного диаметра при скорости подачи материала 16 м/с (функция Гомперца с осцилляцией)

Figure 6 – Analysis of the results of checking CFD data and the proposed function on the efficiency of fractionation of particles of different diameters at a material feed rate of 16 m/s (Gompertz function with oscillation)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение серьезных проблем по подбору и проектированию аппаратов для классификации твердых частиц сухим методом требует понимания и способности предсказывать качество продукта и эффективности работы. В настоящем исследовании с помощью Python проанализированы несколько функций аппроксимации для описания данных, полученных в результате CFD-моделирования устройства, получены данные для прогнозирования эффективности фракционирования с наибольшей точностью в зависимости от заданных условий по скорости подачи частиц и их размера. Предлагаемая аппроксимация функцией Гомперца с осцилляцией хорошо работает во многих показателях диаметров частиц и скоростей потока, имеет самое низкое СКО = 0,0163 при скорости 2 м/с и 0,0376 при 16 м/с, делая лучший прогноз эффективности фракционирования частиц силикагеля мультивихревым классификатором. Для оценки параметров используется метод наименьших квадратов, он прост и имеет наименьшую погрешность, что позволяет идентифицировать сложные закономерности в наборах данных выборки. При небольших размерах выборки и больших скоростях подачи материала от 12 м/с данные следует увеличить. Количество итераций при этом не более 5. Таким образом, использование нейронной сети в Python в сочетании с CFD-исследованиями предоставляет мощный инструмент для улучшения процессов классификации частиц, позволяя более точно контролировать и оптимизировать производственные процессы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбалко Р.И., Кралин А.К. Исследование рабочих процессов аэродинамической классификации сыпучих материалов в двухстадийном сепараторе // Современное промышленное и гражданское строительство. 2016. Т. 12. № 2. С. 59–69.

2. Терехова О.Н., Дуюнова Я.С. Пневмоцентробежная классификация дисперсных частиц в процессе переработки зерна в муку // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 1. С. 124–134. doi: 10.21603/2074-9414-2024-1-2494.

3. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля / В.Э. Зинуров [и др.] // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 205–211. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.029.

4. Турубаев Р.Р., Шваб А.В. Моделирование аэродинамики закрученного турбулентного течения и процесса классификации частиц в вихревой камере // Инженерно-физический журнал. 2022. Т. 95. № 5. С. 1248–1256.

5. Влияние поперечной неоднородности потока газа на кривую разделения гравитационного классификатора / Е.А. Шуина [и др.] // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2015. № 5. С. 60–63. doi: 10.17588/2072-2672.2015.5.060-063.

6. Моделирование и оптимизация регулярных многоступенчатых многопродуктовых гравитационных классификаторов / В.П. Жуков [и др.] // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2023. № 4. С. 77–84. doi: 10.17588/2072-2672.2023.4.077-084.

7. Separation efficiency of alumina particles in Al melt under high frequency magnetic field / Q.T. Guo [et al.] // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2010. Vol. 20. № 1. P. 153–157. doi: 10.1016/S1003-6326(09)60113-8.

8. Narrowing particle size distributions to enhance powder coating performance by improved classifying / X. Zhu [et al.] // Powder Technology. 2024. Vol. 435. Article 119443. doi: 10.1016/j.powtec.2024.119443.

9. Fine particle sorting and classification in the cyclonic centrifugal field / P. Fu [et al.] // Separation and Purification Technology. 2016. Vol. 158. P. 357–366. doi: 10.1016/j.seppur.2015.12.044.

10. Промышленные испытания фракционирования сыпучего материала в мультивихревом классификаторе-сепараторе / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25. № 4. С. 58–63. doi: 10.55421/1998-7072_2022_25_4_58.

11. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С. Влияние конструктивного оформления мультивихревого классификатора-сепаратора на эффективность разделения порошка на основе силикагеля // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2022. № 9. С. 23–27.

12. Бизли Д. Python. Подробный справочник. СПб. : Символ-Плюс, 2010. 864 с.

13. Torres F.J. Estimation of parameters of the shifted Gompertz distribution using least squares, maximum likelihood and moments methods // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2014. Vol. 255. P. 867–877. doi: 10.1016/j.cam.2013.07.004.

Информация об авторах

О. С. Дмитриева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование пищевых производств» Казанского национального исследовательского технологического университета.

А. В. Дмитриев – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» Казанского государственного энергетического университета.

Г. Р. Бадртединова – ассистент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» Казанского государственного энергетического университета.

А. А. Валеев – магистрант Казанского государственного энергетического университета.

REFERENCES

1. Rybalko, R.I. & Kralin, A.K. (2016). Researches of air classification of bulk materials in dry grinding aggregates in the two-stage separator. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 12(2), 59-69. (In Russ.).

2. Terekhova, O.N. & Duyunova, Ya.S. (2024). Pneumocentrifugal classification of dispersed particles during grain milling. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 54(1), 124-134. (In Russ.). doi: 10.21603/2074-9414-2024-1-2494.

3. Zinurov, V.E., Madyshev, I.N., Ivakhnenko, A.R. & Petrova, I.V. (2021). Development of a classifier with coaxially arranged pipes for the separation of bulk material based on silica gel. *Polzunovsky vestnik*, (2), 205-211. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.29.

4. Turubaev, R.R. & Shvab, A.V. (2022). Simulation of the aerodynamics of a swirling turbulent flow and of the process of classification of particles in a vortex chamber. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 95(5), 1230-1238.

5. Shuina, E.A., Mizonov, V.E. & Misbakhov, R.Sh. (2015). Influence of gas flow non-homogeneity on the grade efficiency curve of gravity classifier. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta,* (5), 60-63. (In Russ.). doi: 10.17588/2072-2672.2015.5.060-063.

6. Zhukov, V.P., Belyakov, A.N., Ogurtsov, A.V., Shmelev, A.S., Barakovskikh, D.S. & Shuvalov, S.I. (2023). Modeling and optimization of regular multi-stage multi-product gravity classifiers. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, (4), 77-84. (In Russ.). doi: 10.17588/2072-2672.2023.4.077-084.

7. Guo, Q.T., Hong, C.P., Cao, Z.Q., Zhang, Z.T., Li, T.J. & Jin, J.Z. (2010). Separation efficiency of alumina particles in Al melt under high frequency magnetic field. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20(1), 153-157. doi: 10.1016/S1003-6326(09)60113-8.

8. Zhu, X., Liu, W., Zhang, H., Zhang, H. & Zhu, J. (2024). Narrowing particle size distributions to enhance powder coating performance by improved classifying. *Powder Technology*, 435, 119443. doi: 10.1016/j.powtec.2024.119443.

9. Fu, P., Wang, F., Ma, L., Yang, X. & Wang, H. (2016). Fine particle sorting and classification in the cyclonic centrifugal field. *Separation and Purification Technology*, 158, 357-366. doi: 10.1016/j.seppur.2015.12.044.

10. Zinurov, V.E., Dmitriev, A.V., Dmitrieva, O.S. & Moiseeva, K.S. (2022). Industrial fractionation tests of bulk material in a multi vortex classifier separator. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 25(4), 58-63. (In Russ.). doi: 10.55421/1998-7072_2022_25_4_58.

11. Zinurov, V.E., Dmitriev, A.V. & Dmitrieva, O.S. (2023). Effect of the design of a multi-vortex classifier-separator on the separation efficiency of powder based on silica gel. *Chemical and Petroleum Engineering*, 58(9-10), 757-765. doi: 10.1007/s10556-023-01158-9.

12. Bizli, D. (2010). *Python. Podrobnyy spravochnik*. Simvol-Plyus, Saint-Petersburg, 864 s. (In Russ.).

13. Torres, F.J. (2014). Estimation of parameters of the shifted Gompertz distribution using least squares, maximum likelihood and moments methods. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 255, 867-877. doi: 10.1016/j.cam.2013.07.004.

Information about the authors

O.S. Dmitrieva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Food Production Equipment", Kazan National Research Technological University.

A.V. Dmitriev - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department "Automation of Technological Processes and Productions", Kazan State Power Engineering University.

G.R. Badrtedinova - assistant at the Department "Automation of Technological Processes and Productions", Kazan State Power Engineering University.

A.A. Valeev - master's student, Kazan State Power Engineering University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 207–213.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 207–213.

Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 628.16.081.32
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.032 EDN: EEBQTP

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВУХСЛОЙНЫХ УДОБРЕНИЙ С НАПОЛНИТЕЛЕМ И ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Виктория Олеговна Стрельникова [1], Юлия Александровна Таран [2], Валентина Михайловна Фуфаева [3]

[1, 2, 3] МИРЭА – Российский технологический университет, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[1] strelnikova@mirea.ru, https://orcid.org/0000-0002-7438-804X
[2] taran_yu@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0938-973X
[3] fufaeva@mirea.ru, https://orcid.org/0000-0003-0099-3068

Аннотация. *Представлены результаты исследования качественных показателей двухслойных гранул азотсодержащих удобрений. В качестве исходных гранул использовались гранулированный и приллированный карбамид, а также приллированное NPK-удобрение. Первый слой включал порошкообразный наполнитель из фосфогипса и раствор лигносульфоната как связующее, причём оба компонента являются отходами производств. Второй слой представлял собой защитную оболочку на основе стеариновой кислоты. Качество полученных гранул оценивали исходя из качества поверхности, статической прочности, а также скорости растворения гранул в дистиллированной воде (пролонгированного эффекта). В результате было показано, что полученные удобрения обладают приемлемым качеством поверхности (гладкое и равномерное покрытие), повышенной статической прочностью (в 1,4–3 раза больше относительно исходных гранул) и пролонгированным эффектом (время полного растворения 5–7 суток в сравнении с 1–2 часами для исходных гранул). Применение таких удобрений позволит снизить объём разрушенных гранул в процессе их хранения, транспортировки и внесения удобрений в почву, а также уменьшить потери азота в результате почвенных преобразований, что в совокупности минимизирует негативное воздействие на окружающую среду. Кроме того, вовлечение в процесс невостребованных отходов химической промышленности соответствует принципам устойчивого развития в рамках экономики замкнутого цикла.*

Ключевые слова: *азотсодержащие удобрения, наполнитель, фосфогипс, защитное покрытие, статическая прочность, пролонгированный эффект.*

Благодарности: *авторы выражают признательность коллегам за помощь, благодарность за финансовую поддержку исследования.*

Для цитирования: Стрельникова В. О., Таран Ю. А., Фуфаева В. М. Исследование качественных показателей двухслойных удобрений с наполнителем и защитной оболочкой // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 207–213. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.032. EDN: https://elibrary.ru/EEBQTP.

Original article

INVESTIGATION OF QUALITY INDICATORS OF TWO-LAYER FERTILIZERS WITH A FILLER AND A PROTECTIVE COATING

Victoria O. Strelnikova [1], Yulia A. Taran [2], Valentina M. Fufaeva [3]

[1, 2, 3] MIREA - Russian Technological University, Institute of Fine Chemical Technologies named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russia
[1] strelnikova@mirea.ru, https://orcid.org/0000-0002-7438-804X
[2] taran_yu@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0938-973X
[3] fufaeva@mirea.ru, https://orcid.org/0000-0003-0099-3068

Abstract. *The article presents the results of a study of the qualitative properties of two-layer granules of nitrogen-containing fertilizers. Granulated and prilled urea, as well as prilled NPK fertilizer, were used as the initial*

© Стрельникова В. О., Таран Ю. А., Фуфаева В. М. 2026

granules. The first layer included a powdered phosphogypsum filler and a lignosulfonate solution as a binder, both components being industrial waste. The second layer was a protective shell based on stearic acid. The quality of the resulting granules was assessed based on surface quality, static strength, and the rate of dissolution of the granules in distilled water (prolonged effect). The results showed that the obtained fertilizers have an acceptable surface quality (smooth and uniform coating), increased static strength (1.4-3 times greater than that of the initial granules), and a prolonged effect (complete dissolution time of 5-7 days compared to 1-2 hours for the initial granules). The use of such fertilizers will reduce the volume of granules destroyed during storage, transportation, and soil application, as well as nitrogen loss due to soil transformation, which will minimize the negative impact on the environment. Furthermore, the inclusion of unclaimed chemical industry waste in the process is consistent with the principles of sustainable development within the framework of a circular economy.

Keywords: *Nitrogen-containing fertilizers, filler, phosphogypsum, protective coating, static strength, prolonged effect.*

Acknowledgements: *the authors express gratitude to colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.*

For citation: Strelnikova, V.O., Taran, Yu.A., Fufaeva, V.M. (2026). Investigation of the quality indicators of two-layer fertilizers with a filler and a protective coating. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 207-213. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.032. EDN: https: //elibrary.ru/EEBQTP.

ВЕДЕНИЕ

Высокие потери традиционных гранулированных удобрений в процессе обращения с ними (10–15% [1]), а также почвенных преобразований азота (20–60 % [2]) являются причиной загрязнения окружающей среды и экономического убытка как производителей удобрений, так и фермеров. Для решения данной проблемы на рынок вводятся новые виды удобрений, обладающие улучшенными физико-механическими свойствами (в первую очередь статической прочностью), а также замедленной скоростью растворения гранул в почве (т.е. пролонгированным эффектом).

Известным приёмом улучшения физико-механических свойств продукции является использование наполнителей различной природы [3]. В области производства гранулированных удобрений наполнитель представляет собой порошкообразное вещество, которое вносят в раствор/плав минерального удобрения, смешивают с исходными или измельчёнными гранулами удобрения или наносят на поверхность исходных гранул в количестве 5–25% масс. или более [4–8]. Кроме того, в области агрохимии для соответствия принципам устойчивого (в том числе зелёного) развития [9] в процессы получения минеральных удобрений активно внедряются всевозможные невостребованные отходы производств, например, применение избыточного активного ила рассмотрено в [10]. К таким отходам относится фосфогипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) – побочный продукт производства фосфорсодержащих удобрений [4, 6].

Удобрения с пролонгированным эффектом представляют собой ядра гранул, покрытых оболочками со сниженной растворимостью в воде, т.е. обладающих гидрофобными свойствами. Такие оболочки создают физический барьер для транспорта питательных веществ из удобрения в почву, благодаря чему увеличивается доля азота, используемого выращиваемыми культурами, а также снижается объём соединений азота, подверженных вымыванию в поверхностные и грунтовые воды и улетучиванию в атмосферу [2]. Для покрытия используют органические, неорганические, полимерные и биополимерные вещества [11]. Применение стеариновой кислоты с целью замедления высвобождения питательных элементов из гранул удобрения рассмотрено в [12, 13, 14]. Следует отметить, что стеариновая кислота при внесении в почву под действием микробиоты разлагается на CO_2 и H_2O, что позволяет избежать загрязнения почвы балластными материалами и отнести её к биоразлагаемым веществам [15].

Совместное использование наполнителей и верхнего гидрофобного покрытия рассмотрено в работе [16], где за счёт нанесения двухслойного покрытия, состоящего из первого слоя – смеси гипса и серы (20 % об.) и наружного слоя – расплава парафина (3 % об.) была повышена эффективность карбамида на 26 %.

Представленное исследование является продолжением работы авторов по получению сложных удобрений с наполнителем [17]. С целью предотвращения разрушения структуры сложных гранул с наполнителем и замедления растворения их в почве были проведены исследования по нанесению верхней защитной оболочки на основе стеариновой кислоты с получением двухслойных гранул, а также изучение свойств полученных гранул.

МЕТОДЫ

Двухслойные удобрения получены на основе карбамида марки Б (ГОСТ 2081-2010) в приллированном и гранулированном виде, а также NPK-удобрения марки 16:16:16 (ТУ 2186-031-00206486-2013) в виде прилл. Исследования проводились на узкой фракции исходных гранул с диаметром 3–4 мм.

Наполнителем выступал порошкообразный фосфогипс (ГОСТ Р 58820-2020), высушенный до постоянной массы с дисперсностью частиц < 0,2 мм. Наполнитель вводился в количестве 50 % от массы исходных гранул. В качестве связующего для нанесения наполнителя на исходные гранулы использовался 40 % раствор лигносульфоната, приготовленный из исходного порошка (ТУ 2455-028-00279580-2004).

Гидрофобное покрытие представляло из себя расплав на основе стеариновой кислоты марки Т-32 (ГОСТ 6484-96).

Процесс нанесения наполнителя на исходные гранулы удобрения проводили на лабораторной установке с тарельчатым гранулятором, описанной в [17]. Режимно-технологические параметры работы гранулятора: угол наклона тарелки – 35±2°, частота вращения тарелки – 30±1 об/мин и температура в слое гранул – 40±5 ºС.

Покрытие полученных гранул сложного удобрения защитной оболочкой также осуществляли в тарельчатом грануляторе путём распыла покрытия через форсунку на движущийся слой гранул. Температурный режим на форсунке устанавливался на уровне

75±5°С. Расход состава покрытия рассчитывался из планируемой доли покрытия, которая составляла 25 % масс. для всех вариантов опытов.

Для готовых гранул оценивали: качество поверхности – микроскопическим методом, статическую прочность – по ГОСТ 21560.2-82 на приборе ИПГ-1М и скорость растворения (пролонгированный эффект) – весовым методом, который включает растворение навески гранул, помещённой в непроточную ячейку, в дистиллированной воде, отбор остатка через установленные промежутки времени, высушивание его до постоянной массы и взвешивание.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные гранулы удобрений с наполнителем (однослойные) и с защитной оболочкой (двухслойные) представлены на рисунке 1. Видно, что приллы обладают более сферичной формой по сравнению с гранулами, что является следствием различных технологий производства данных продуктов [18]. Вместе с тем, после финишного покрытия защитной оболочкой все образцы удобрений обладают равномерным покрытием достаточно гладкой поверхностью.



Рисунок 1 – Вид гранул азотсодержащих удобрений: первый столбец – исходные гранулы; второй столбец – однослойные (с наполнителем); третий столбец – двухслойные (с наполнителем и защитной оболочкой); четвёртый столбец – двухслойные в разрезе; а – приллированный карбамид; б – гранулированный карбамид; в – приллированный NPK

Figure 1 – The type of granules of complex fertilizer with filler: first column – original granules; second column – single-layer (with filler); third column – two-layer (with filler and protective shell);fourth column – two-layer insection; *а* – prilled urea; *б* – granulated urea; *в* – prilled NPK

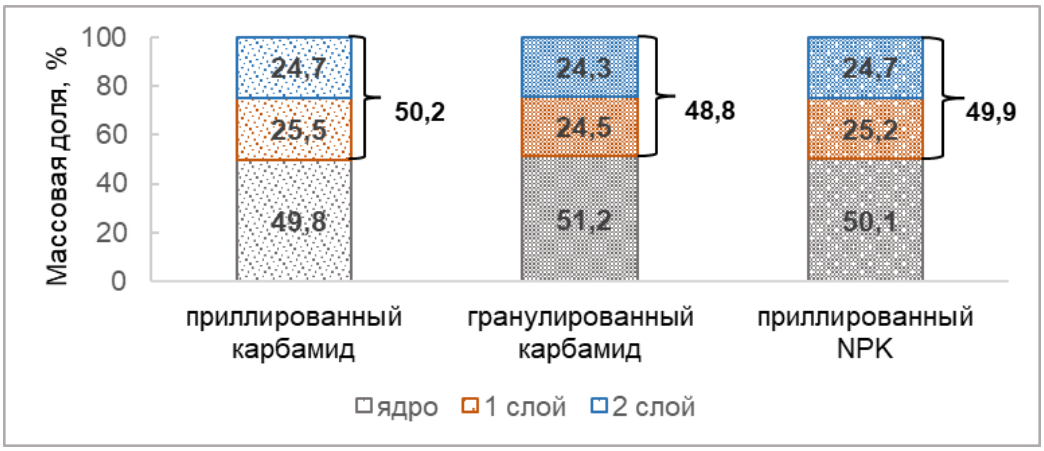


Рисунок 2 – Массовая доля покрытия двухслойных гранул

Figure 2 – Mass fraction of coating of two-layer granules

Расчёт массовой доли покрытия осуществлялся по формуле (1):

$$x_{\text{покр.}} = \frac{m - m_0}{m} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $x_{\text{покр.}}$ – массовая доля покрытия, % масс.; m – масса двухслойных гранул с покрытием, г; m_0 – масса исходных гранул без покрытия, г.

Установлено (рис. 2), что в среднем массовая доля покрытия двухслойных гранул составляет 49±0,7% масс., причём наименьшее значение наблюдается в случае использования в качестве исходного удобрения (ядра) гранулированного карбамида. Это объясняется изначально менее гладкой поверхностью и сферичностью гранул по сравнению с приллами, что способствует худшему прикреплению порошка наполнителя к ядру. Тем не менее, можно заключить, что для всех вариантов двухслойных удобрений массовая доля покрытия в среднем составляет половину от общей массы гранул, при этом соотношение первого и второго слоёв покрытия 1:1.

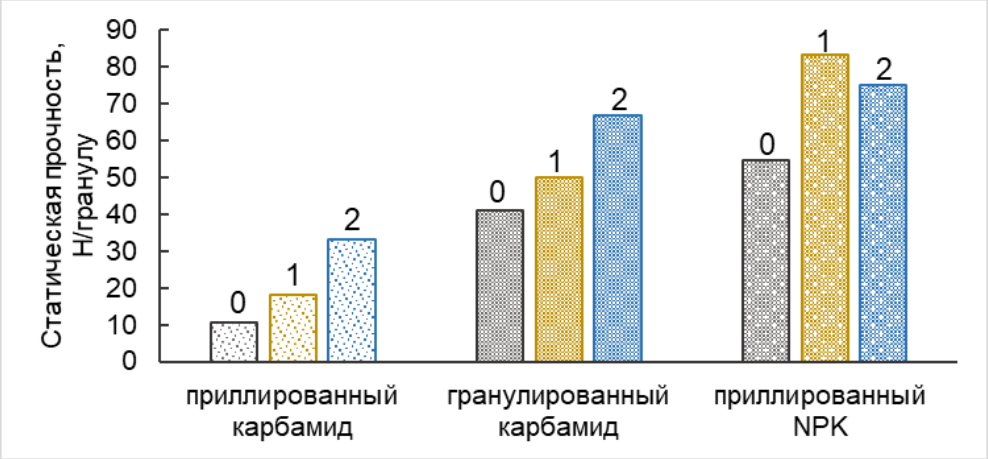
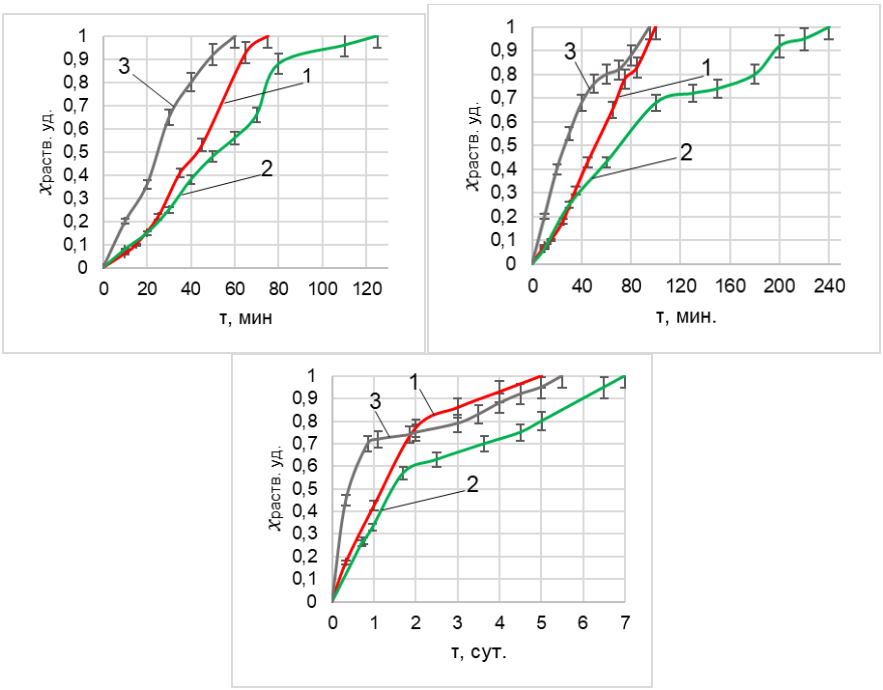


Рисунок 3 – Значения статической прочности гранул удобрений: 0 – исходные гранулы; 1 – однослойные; 2 – двухслойные

Figure 3 – Values of static strength of granules of fertilizer: 0 – original granules; 1 single-layer; 2 – two-layer



а) б) в)

Рисунок 4 – Кривые растворимости гранул удобрений: а – исходные гранулы; б – однослойные; 2 – двухслойные; 1 – приллированный карбамид; 2 – гранулированный карбамид; 3 – приллированный NPK

Figure 4 – Solubility curves of fertilizer granules: a – original granules; b – single-layer; 2 – double-layer; 1 – prilled urea; 2 – granulated urea; 3 – prilled NPK

Результаты исследования динамики изменения статической прочности гранул при последовательном нанесении слоёв представлены на рисунке 3. Для карбамида как приллированного, так и

гранулированного наблюдается увеличение значений статической прочности (в 3 и 1,5 раза соответственно) в сравнении с непокрытыми гранулами. Для двухслойных гранул на основе NPK также характерно увеличение прочности относительно исходных гранул (в 1,4 раза), однако следует отметить, что после нанесения защитного слоя прочность немного снижается относительно однослойных гранул. Вероятно, адгезия первого слоя, состоящего из порошкообразного фосфогипса, к поверхности гранул NPK-удобрения больше, чем к поверхности гранул карбамида, поэтому финишное покрытие на основе стеариновой кислоты, являющееся само по себе достаточно мягким, незначительно снижает статическую прочность гранул NPK-удобрения. Напротив, для карбамида последующее нанесение защитного покрытия позволяет сильнее сцепить частицы наполнителя и упрочнить рыхлую структуру покрытия.

Для определения скорости растворения образцов полученных удобрений рассчитывали долю растворившегося удобрения по формуле (2):

$$x_{\text{раств.уд.}} = 1 - \frac{m_{\text{ост.}} - (m_{\text{покр.}} - m_{\text{связ.}})}{m_{\text{нав.}} \cdot x_{\text{покр.}}},$$

где $x_{\text{раств.уд.}}$ – массовая доля растворившегося удобрения; $m_{\text{ост.}}$ – масса высушенного остатка, г; $m_{\text{покр.}}$ – масса покрытия, г; $m_{\text{связ.}}$ – масса сухого вещества в связующем, г; $m_{\text{нав.}}$ – масса исходной навески, г; $x_{\text{покр.}}$ – массовая доля покрытия.

Далее строили зависимости доли растворившегося сложного двухслойного удобрения от времени (рис. 4). Также для сравнительного анализа были построены кривые растворимости для исходных гранул удобрений, которые получили рефрактометрическим методом путём измерения концентрации удобрения в растворе по показателю преломления (рис. 4, *а*). Видно, что для всех видов двухслойных гранул время полного растворения значительно увеличилось по сравнению с исходными гранулами (рис. 4, *в*). Так, за 1-е сутки гранулы на основе приллированного карбамида растворились на 43 %, на основе гранулированного карбамида – на 34 % и приллированного NPK-удобрения – на 70 %, при этом полное растворение происходит за 5, 7 и 5,5 суток соответственно. Для всех исходных полное растворение происходит в пределах двух часов (рис. 4, *а*). Покрытие гранул фосфогипсом не дало значительного пролонгированного эффекта (рис. 4, *б*), для всех образцов полное растворение наблюдалось в течение 1,5–4 часов, т.е. за первые сутки. Причиной этого является присутствие в первом слое покрытия водорастворимого связующего – лигносульфоната, который выделяется в раствор, после чего частицы порошкообразного наполнителя (фосфогипса) осыпаются с поверхности гранулы, способствуя выделению питательных компонентов из гранулы в раствор. Также можно отметить, что скорость растворения двухслойных гранул на основе приллированных продуктов больше (а время полного растворения меньше), чем для гранул на основе гранулированного карбамида, что связано с большей удельной поверхностью прилл, а также наличием усадочного канала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования подтверждают возможность получения двухслойных гранул азотсодержащих удобрений с наполнителем и защитным покрытием, обладающих повышенной статической прочностью и пролонгированным эффектом. Это позволит уменьшить долю разрушенных гранул на этапах хранения, транспортировки и внесения удобрений в почву, а также снизить долю удобрений, подверженных вымыванию и переходу в газообразные соединения в результате почвенных преобразований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Кизинек С.В. Агрохимические основы применения удобрений. Майкоп : ОАО «ПолиграфЮГ», 2013. 571 с.

2. Urea application in soil: processes, losses, and alternatives – a review / A.M. Motasim [et al.] // Discov Agric. V. 2. № 42. 2024. doi.org/10.1007/s44279-024-00060-z.

3. Использование азотсодержащих кремнийорганических соединений при создании термо- и огнестойких компаундов для герметизации высоковольтного и высокочастотного оборудования / А.Д. Кирилин [и др.] // Тонкие химические технологии. 2024. Т. 19. № 4. С. 293–306. doi.org/10.32362/2410-6593-2024-19-4-293-309.

4. Vashishtha M., Dongara P., Singh D. Improvement in properties of urea by phosphogypsum coating // International Journal Chem Tech Research. 2010. V. 2. № 1. P. 36–44.

5. Dubey A., Mailapalli D.R. Zeolite coated urea fertilizer using different binders: Fabrication, material properties and nitrogen release studies // Environmental Technology & Innovation. 2019. V. 16. P. 100452. doi.org/10.1016/j.eti. 2019.100452.

6. Shivay Y.S., Prasad R., Pal. M. Effect of nitrogen levels and coated urea on growth, yields and nitrogen use efficiency in aromatic rice. Journal of Plant Nutrition. 2015. V. 36. № 6. P. 875–882. doi.org/10.1080/01904167.2015.1109102.

7. New coating formulation for the slow release of urea using a mixture of gypsum and dolomitic limestone / F.E. Babadi [et al.] // Particuology. 2015. V. 23. P. 62–67. doi.org/ 10.1016/j.partic.2014.12.011.

8. Lipin A.A., Lipin A.G. Particle coating with composite shell in a pan granulator // Particulate science and technology. 2021. V. 40. № 1. P. 123–130. doi.org/10.1080/02726351.2021.1927272.

9. Cordeiro C.M., Sindhøj E. Situating the discourse of recycled nutrient fertilizers in circular economy principles for sustainable agriculture // Front. Sustain. 2024. 5:1465752. doi: 10.3389/frsus.2024.1465752.

10. Горелова О.М., Титова К.Ю. Исследования по утилизации избыточного активного ила // Ползуновский вестник. 2015. Т. 1. № 4. С. 114–118.

11. Фуфаева В.М., Таран Ю.А., Стрельникова В.О. Удобрения пролонгированного действия – новый этап развития рынка удобрений (обзор) // Химическая технология. 2024. № 3. С. 86–96. doi:10.31044/1684-5811-2024-25-3-86-95.

12. Affendi N.M.N., Mansor N., Mathialagan R. Development and characterization of allicin using palm stearin as a binder on urea granules // Journal of Plant Nutrition. 2019. V. 43. № 5. P. 621–628. doi: 10.1080/01904167.2019.1701021.

13. Synthesis, characterization and analysis of biodegradable polymer-coated urea fertilizers for controlled nutrient release / B. Balashanmugavel [et al.] // Polym. Bull. 2024. V. 81. P. 15533–15549. Doi: org/10.1007/s00289-024-05431-6.

14. Influence of biodegradable polymer coated urea on nitrogen uptake and utilization of maize (Zea mays L) / B. Balaganesh [et al.] // International Journal of Plant & Soil Science. 2021. V. 33. № 24. P. 297–306. doi: 10.9734/IJPSS/2021/v33i2430781.

15. Decomposition of lipids in soils: Free and esterified fatty acids, alcohols and ketones / J. Moucawi [et al.] // Soil Biology and Biochemistry. 1981. V. 13. № 6. P. 461–468. Doi: org/10.1016/0038-0717(81)90035-3.

16. Ibrahim K.R.M., Babadi F.E., Yunus R. Comparative performance of different urea coating materials for slow release // Particuology. 2014. V. 17. P. 165–172. doi:10.1016/j.patic.2014.03.009.

17. Стрельникова В.О., Таран Ю.А. Получение нового удобрения на основе карбамида с использованием фосфогипса в качестве наполнителя // Химическая промышленность сегодня. 2023. № 5. С. 29–37. doi: 10.53884/27132854_2023_5_29.

18. Соколовский А.А., Яшке Е.В. Технология минеральных удобрений и кислот / А.А. Соколовский. Москва : Химия, 1971. 456 с.

Информация об авторах

В. О. Стрельникова – старший преподаватель «Кафедры процессов и аппаратов химических технологий имени Гельперина Н. И.», Институт тонких химических технологий им М.В. Ломоносова, ФГБОУ ВО МИРЭА – Российский технологический университет.

Ю. А. Таран – доктор технических наук, доцент, заведующий «Кафедрой процессов и аппаратов химических технологий имени Гельперина Н.И.», Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, МИРЭА – Российский технологический университет.

В. М. Фуфаева – кандидат технических наук, преподаватель «Кафедры процессов и аппаратов химических технологий имени Гельперина Н.И.», Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, ФГБОУ ВО МИРЭА – Российский технологический университет.

REFERENCES

1. Sheudzhen, A.Kh., Bondareva, T.N. & Kizinek, S.V. (2013). *Agrochemical principles of fertilizer application*. Maykop : Poligra FYUG. (In Russ.).

2. Motasim, A.M., Samsuri, A.W., Nabayi, A., Akter, A., Haque, M.A. & Adibah, A.M. (2024). Urea application in soil: processes, losses, and alternatives - a review. *Discov Agric,* V. 2,(42). doi: org/10.1007/s44279-024-00060-z.

3. Kirilin, A.D., Belova, L.O., Golub, N.A., Pletnyova, M.V., Kirilina, N.I. & Mironov, D.E. (2024). The use of nitrogen-containing organosilicon compounds in the creation of heat- and fire-resistant compounds for sealing high-voltage and high-frequency equipment // *Fine chemical technologies*, V. 19,(4), 293-306. (In Russ.). doi: org/10.32362/2410-6593-2024-19-4-293-309.

4. Vashishtha, M., Dongara, P. & Singh, D. (2010). Improvement in properties of urea by phosphogypsum coating. *International Journal Chem Tech Research*, V. 2, (1), 36-44.

5. Dubey, A. & Mailapalli, D.R. (2019). Zeolite coated urea fertilizer using different binders: Fabrication, material properties and nitrogen release studies. *Environmental Technology & Innovation*, V. 16, (13), 100452. doi: org/10.1016/j.eti. 2019.100452.

6. Shivay, Y.S., Prasad, R. & Pal, M. (2015). Effect of nitrogen levels and coated urea on growth, yields and nitrogen use efficiency in aromatic rice. *Journal of Plant Nutrition*, 36 (6), 875-882. doi: org/10.1080/01904167.2015.1109102.

7. Babadi, F.E., Yunus, R., Rashid, S.A., Sallehb, M.A.M. & Ali, S. (2015). New coating formulation for the slow release of urea using a mixture of gypsum and dolomitic limestone. *Particuology*, (23), 62-67. doi: org/10.1016/ j.partic.2014.12.011.

8. Lipin, A.A., Lipin, A.G. (2021). Particle coating with composite shell in a pan granulator. *Particulate science and technology*, V. 40, (1), 123-130. doi: org/10.1080/02726351. 2021.1927272.

9. Cordeiro, C.M. & Sindhøj, E. (2024). Situating the discourse of recycled nutrient fertilizers in circular economy principles for sustainable agriculture. *Front. Sustain*, (5), 1465752. doi: 10.3389/frsus.2024.1465752.

10. Gorelova, O.M., Titova, K.YU. (2015). Research on the utilization of excess activated sludge. *Polzunovskij vestnik*, V. 1, № 4, 114-118. (In Russ.).

11. Fufaeva, V.M., Taran, Yu.A. & Strel'nikova, V.O. (2024). Slow-release fertilizers - a new stage in the development of the fertilizer market (review). *Chemical technology*, (3), 86-96. (In Russ.). doi: 10.31044/1684-5811-2024-25-3-86-95.

12. Affendi, N.M.N., Mansor, N. & Mathialagan, R. (2018). Development and characterization of allicin using palm stearin as a binder on urea granules. *Journal of Plant Nutrition*, V. 43. (5). P. 621-628. doi: 10.1080/01904167.2019.1701021.

13. Balashanmugavel, B., Subramani, M., Vunnam, V. & Kasiviswanathan, S.Ch.B. (2024). Synthesis, characterization and analysis of biodegradable polymer-coated urea fertilizers for controlled nutrient release. *Polym. Bull*., V. 81. 15533-15549. Doi: org/10.1007/s00289-02405431-6.

14. Balaganesh, B., Malarvizhi, P., Chandra Sekaran, N., Jeyakumar, K P., Latha, R. & Lakshmanan, A. (2021). Influence of biodegradable polymer coated urea on nitrogen uptake and utilization of maize (Zea mays L) // *International Journal of Plant & Soil Science*, V. 33, (24), 297-306. doi: 10.9734/IJPSS/2021/v33i2430781.

15. Moucawi, J., Fustec, E., Jambu, P. & Jacquesy, R. (1981). Decomposition of lipids in soils: Free and esterified fatty acids, alcohols and ketones // *Soil Biology and Biochemistry*, V. 13. (6). 461-468. Doi: org/10.1016/ 0038-0717(81)90035-3.

16. Ibrahim, K.R.M, Babadi, F.E. & Yunus, R. (2014). Comparative performance of different urea coating materials for slow release. *Particuology*, V. 17, 165-172. doi: 10.1016/ j.patic.2014.03.009.

17. Strel'nikova, V.O., Taran, Yu.A. (2023). Production of a new urea-based fertilizer using phosphogypsum as a filler. *The chemical industry today*, (5), 29-37. (In Russ.). doi: 10.53884/27132854_ 2023_5_29.

18. Sokolovskij, A.A. & Yashke, E.V. (1971). Technology of mineral fertilizers and acids. Moscow : Himiya. (In Russ.).

Information about the authors

V.O. Strelnikova - is a senior lecturer at the N.I. Gelperin Department of Processes and Apparatuses in Chemical Engineering, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technology, MIREA - Russian Technological University.

U.A. Taran - is a doctor of engineering sciences, associate professor, and head of the N.I. Gelperin Department of Processes and Apparatuses in Chemical Engineering, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technology, MIREA - Russian Technological University.

V.M. Fufaeva - is a candidate of engineering sciences, lecturer at the N.I. Gelperin Department of Processes and Apparatuses in Chemical Engineering, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technology, MIREA - Russian Technological University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 214–219.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 214–219.

Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК66.061.3; 582.272; 615.454.1
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.033 EDN: TGUASE

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КАМЧАТСКОГО КРАЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОСМЕТИКИ

Лиана Арсеновна Виниченко [1], Татьяна Владимировна Луковникова [2], Ольга Михайловна Горелова [3]

[1, 2] Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, Россия
[3] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[1] vinichenkoia@kamgu.ru
[2] lukovnikovatv@kamgu.ru
[3] osgor777@mail.ru

Аннотация. *Ценным бальнеологическим ресурсом Камчатки являются лечебные грязи пресноводных озер, в частности озера Утиное. Запасы пелоида исследованы и успешно используются в санаторно-курортном лечении. Извлечение активных компонентов из лечебной грязи целесообразно для создания новых средств уходовой косметики.*

Ламинария является уникальным сырьем для различных отраслей производства. Это объясняется богатым составом водоросли, присутствием огромного количества биологически активных соединений. Компоненты ламинарии имеют разную химическую природу, что требуется учитывать в процессе переработки водоросли, например, методом экстракции. Правильный подбор экстрагента позволит получить продукт, обогащенный несколькими определенными веществами – альгинатами, хлорофиллами, каратиноидами, полисахаридами, маннитом, фукоксантином, йодом и т.д.

Для производства уходовой косметики, направленной на увлажнение и регенерацию кожи, борьбу с возрастными изменениями, желателен разнообразный набор биологически активных компонентов ламинарии и пелоида.

В работе проводились исследования по экстракции биологически активных веществ из пелоида озера Утиное и водоросли Hedophyllum bongardianum. Оценивались количество и степень извлечения компонентов и возможность применения полученных экстрактов в производстве средств уходовой косметики.

Ключевые слова: *ламинария, Hedophyllum bongardianum, пелоид, экстракция, альгинаты, полисахариды, биологически активные вещества, Камчатка, косметические средства, спектрофотометрия.*

Для цитирования: Виниченко Л. А., Луковникова Т. В., Горелова О. М. Исследования по использованию бальнеологических и биологических ресурсов Камчатского края в производстве косметики // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 214– 219. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.033. EDN: https://elibrary.ru/TGUASE.

Original article

RESEARCH ON USE OF BALNEOLOGICAL AND BIOLOGICAL RESOURCES OF KAMCHATKA REGION IN PRODUCTION OF COSMETICS

Liana A. Vinichenko [1], Tatyana V. Lukovnikova [2], Olga M. Gorelova [3]

[1, 2] Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia
[3] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[1] vinichenkoia@kamgu.ru
[2] lukovnikovatv@kamgu.ru
[3] osgor777@mail.ru

Abstract. *The therapeutic muds of freshwater lakes, in particular the Utynoyelake, are a valuable balneological resource of Kamchatka. The peloid reserves have been studied and are successfully used in sanatorium treatment. Extraction of active components from therapeutic mud is suitable for creating new skincare products.*

Kelp is a unique raw material for various industries. This is due to the rich composition of the seaweed and the presence of a large number of biologically active compounds. The components of kelp have different chemical properties, which must be taken into account during the processing of the seaweed, such as by extraction. The correct selection of the extractant will allow you to obtain a product enriched with several specific substances, such as alginate, chlorophyll, carotenoid, polysaccharide, mannitol, fucoxanthin, iodine, etc.

© Виниченко Л. А., Луковникова Т. В., Горелова О. М., 2026

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КАМЧАТСКОГО КРАЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОСМЕТИКИ

For the production of skincare products aimed at moisturizing and regenerating the skin, as well as combating age-related changes, it is desirable to use a diverse set of biologically active components from kelp and peloid.

In this study, we conducted research on the extraction of biologically active components from kelp and peloid.

Keywords: *kelp, Hedophyllum bongardianum, peloid, extraction, alginate, polysaccharides, biologically active substances, Kamchatka, cosmetics, spectrophotometry.*

For citation: Vinichenko, L.A., Lukovnikova, T.V. & Gorelova, O.M. (2026). Research on use of balneological and biological resources of Kamchatka region in production of cosmetics. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 214-219. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.033. EDN: https: //elibrary.ru/TGUASE.

ВВЕДЕНИЕ

Камчатка и ее континентальный шельф обладают значительным и разнообразным природно-ресурсным потенциалом. Сохранение и рациональное использование природных богатств являются приоритетными задачами стратегии социально-экономического развития региона. В первую очередь значимы огромные запасы водных биологических ресурсов, в том числе растительности [1].

Камчатский край уникален по разнообразию и богатству природных бальнеологических и рекреационных ресурсов. Это минеральные термальные воды и лечебные грязи.

Одним из направлений использования водной растительности и бальнеологических ресурсов является переработка их с получением таких продуктов, как средства для спа-процедур, уходовая косметика, космецевтика, фармацевтические препараты.

Целебными ресурсами Камчатки являются лечебные грязи – пелоиды. Это придонный ил, состоящий из органических веществ и минеральных солей, привносимых в донные отложения термальными водами.

Пелоиды озера Утиное Паратунской курортной зоны успешно используются в санаториях и пансионатах края [1].

Исследования биохимических свойств лечебной грязи озера Утиное установили высокое содержание гуминовых и фульвокислот, липидов, каротиноидов, что создает возможность получения на ее основе косметических средств для лица и тела [2]. Вышеуказанные компоненты обладают способностью регенерировать кожные покровы, усиливать обменные процессы, бороться с возрастными изменениями, останавливать воспалительные процессы [3].

Добавление пелоидов в косметику имеет свою специфику. Компоненты грязей могут быть термолабильными, разрушаться при механическом воздействии или при повышенном давлении [3, 4]. Грязи содержат сообщество микроорганизмов, что создает проблемы при обеспечении нормативов качества при изготовлении и хранении косметики. Лечебные грязи зачастую имеют запах, например, сероводорода [3], что требует дополнительных технологических операций при придании косметике потребительских свойств.

Исходя из этого, при создании косметических активов из пелоидов необходимо исключать переход в продукт нежелательных компонентов (радионуклидов, тяжелых металлов), и этого можно достичь путем экстрагирования растворителями различной природы.

Получение косметических средств с использованием грязевых экстрактов предпочтительнее, чем введение в продукты необработанных пелоидов, поскольку:

- экстракты – это зачастую продукты с заданными свойствами и стабильным составом;

- при получении грязевых вытяжек предполагается их дальнейшее использование, взаимодействие с эмульгаторами, загустителями, консервантами и другими компонентами;

- экстракты микробиологически стабильны в отличие от нативной грязи;

- применение концентратов активных компонентов из пелоидов не испортит потребительские свойства продуктов: запах, цвет и др. [4].

Грязи озера Утиное достаточно хорошо изучались на протяжении нескольких десятков лет, определен их химический состав, степень антропогенного загрязнения, сформированы возможные варианты использования и переработки. Высокой биологической активностью обладает водный экстракт лечебной грязи, технология получения которого и введения в косметику отработана и не требует дополнительных исследований.

Существенно повысит эффективность и потребительскую ценность косметической продукции введение в композицию экстрактов водорослей.

В роду ламинарии около 30 видов, распространенных преимущественно в Северном полушарии, особенно в Тихом океане. Многолетние слоевища этих бурых водорослей достигают в длину нескольких метров.

Многочисленные биологически активные вещества, содержащиеся в ламинарии, используются для производства лечебных и оздоровительных продуктов, косметики для лица и тела [5].

В наибольшем количестве в состав ламинарии входят альгиновая кислота (15–40 % от сухой массы), ламинарин (до 21 %), маннит (до 21 %), фруктоза (3–4 %). Следует отметить фукоидан, это сложный сульфатированный полисахарид, который входит в состав клеточных стенок водорослей. Важной составляющей является липидный комплекс, компонент которого – пигмент фукоксантин – придает растению бурый цвет и обеспечивает фотосинтез под водой [5, 6].

Высокая востребованность ламинарии обусловлена ее минеральным составом, включающим йод (0,1–3 %), натрий, калий, фосфор, магний, фтор, железо, хром, алюминий, медь, кобальт, мышьяк, марганец, цинк, бром.

Ламинария богата витаминами С, B_1, B_3, B_6, B_{12}, D, E. Ее аминокислотный состав представлен пролином, глицином, лейцином, валином, аланином, аспарагиновой и глутаминовой кислотами.

Ценными биологически активными компонентами ламинарии также являются каротиноиды, урсоловая кислота, органические соединения йода.

Полисахариды, прежде всего альгиновая кислота, обладают гигроскопичностью, способствуя удержанию влаги в коже и волосах. Витамины и каротиноиды являются антиоксидантами – защищают клетки от окислительного стресса, замедляют процессы старения. Соединения йода стимулируют липолиз, способствуя расщеплению жировых клеток и уменьшению проявлений целлюлита.

Аминокислоты и витамины также ускоряют процессы регенерации кожи, обновления клеток. Урсоловая кислота и минералы уменьшают воспалительные процессы, способствуя заживлению микроповреждений [7].

Очень ценным для косметики ингредиентом во-

дорослей является шестиатомный спирт маннитол (маннит). Он имеет гидрофильные свойства, связывает и надолго удерживает еще большее количество молекул воды, чем гиалуроновая кислота, что способствует восстановлению кожного гидрорезерва. Маннитол активизирует синтез коллагена в коже, обладает антиоксидантным, противоотечным, противовоспалительным и регенерирующим действиями [8].

Фукоксантин способствует продуцированию новых фибробластов, которые затем активно синтезируют гиалуроновую кислоту и коллаген [9].

Таким образом, при получении косметических препаратов, например, для сухой и увядающей кожи с признаками старения требуется вводить в их состав полисахариды и маннит, удерживающие влагу, а также антиоксиданты, аминокислоты и витамины, которые обеспечат процессы регенерации, микроциркуляции.

В кремы для воспаленной и поврежденной кожи целесообразно вводить урсоловую кислоту и минеральные вещества ламинарии, а в антицеллюлитную косметику – соединения йода.

Введение активных компонентов в косметическое средство требует их выделения из растений, концентрирования, стабилизации, консервации и т.д.

Традиционно из водорослей извлекаются ценные компоненты с помощью процесса экстракции [8, 10].

Водная экстракция ламинарии – это взаимодействие измельчённой биомассы водорослей с водой без дополнительных реагентов. При этом экстрагируются аминокислоты, полисахариды, соединения йода, но практически не извлекается маннит. Для извлечения термолабильных гормонов и низкомолекулярных соединений применяется холодный процесс, для экстракции полисахаридов – горячая экстракция при температуре от 80 до 95 ºС.

Более эффективной при извлечении йода и полисахаридов является щелочная экстракция – обработка водорослей слабощелочным раствором (гидроксида натрия в воде) при умеренной температуре.

Кислотная экстракция ламинарии (в присутствии уксусной кислоты) проводится преимущественно для извлечения катионов кальция, связанных с альгиновой кислотой.

Для интенсификации водной экстракции применяются физические воздействия – микроволновая энергия, ультразвук.

Множество исследований по экстракционной переработке ламинарии выявили широкий спектр растворителей, которые могут выщелачивать из водорослей ценные вещества. Кроме воды это этиловый, метиловый, изопропиловый спирты, пропиленгликоль, гексан, ацетон, глицерин, диметилсульфоксид [10].

Получить продукт, в наибольшей степени обогащенный ценными компонентами, возможно при использовании экстракционных систем из одного или нескольких растворителей. При этом можно организовать процесс таким образом, что экстрагент, обладающий экотоксичностью или вредным влиянием на кожу, будет удален из готового экстракта, а извлеченные компоненты сконцентрируются в безопасном носителе. Такая технология позволит получать полупродукты для косметики с богатым набором биологически активных веществ.

МЕТОДЫ

Для исследования экстрактивного извлечения биологически активных веществ из водоросли *Hedophyllum bongardianum* экстрагентами являлись:

- неполярные растворители – гексан (х.ч.), масло вазелиновое медицинское (ГОСТ3164-78);

- полярные растворители – вода дистиллированная, ацетон (х.ч.), этиловый спирт ректификованный, пропиленгликоль (х.ч.), глицерин (ч.д.а.).

Для сохранения термолабильных компонентов, за исключением опыта с водой, экстракция проводилась при комнатной температуре.

Водоросли измельчались на лабораторной мельнице с получением мелкодисперсного продукта (менее 0,5 мм).

Для экстракции бралось 2 г водорослей и 50 г экстрагента, смесь помещалась в плоскодонную колбу. Такое соотношение было определено исходя из того, что при меньшем количестве растворителя, особенно в случае использования воды и глицерина, образовывалась стабильная гелеобразная масса, выделить жидкий экстракт из которой не представлялось возможным.

Колбы с содержимым помещались на лабораторный шейкер, скорость перемешивания устанавливалась 180 оборотов в минуту. Экстракция проходила в течение 60 мин., после чего водорослевый осадок отделялся при помощи вакуумной фильтрации.

Горячая экстракция проводилась на лабораторной мешалке, снабженной обогревом и контролем температуры.

Экстракт анализировался на спектрофотометре в кюветах толщиной 1 мм, в кюветы сравнения наливался чистый экстрагент [11].

При применении экстракционной системы порошок водоросли обрабатывался смесью этанола и вазелинового масла в соотношении 1:1, в остальном экстракция проходила так же, как и при использовании других экстрагентов. После отделения осадка, производилась вакуумная отгонка этилового спирта при температуре кипения, не превышающей 45 ºС. Остаток анализировался на спектрофотометре, в кювету сравнения наливалось только вазелиновое масло.

Измерения на спектрофотометре производились в широком диапазоне длин волн: от 190 до 900 нм.

В таблице 1 представлены диапазоны длин волн, поглощаемые различными компонентами экстрактов водоросли *Hedophyllum bongardianum* [11].

Для фукоксантина проводились дополнительные спектрофотометрические исследования, позволившие установить области поглощения этим компонентом и идентифицировать его в водорослевых вытяжках. Из препарата «Фукоксантин», основного вещества в котором не менее 73 % масс. (также содержит метаболиты фукоксантинол и амарусиаксантин), получали водный и спиртовый продукты, их анализировали аналогично водорослевым.

Исследования авторов [10] показывают, что прямое спектрофотометрическое определение реализуется преимущественно для пигментов, таковыми являются каротины, хлорофиллы и ксантофиллы. Для определения остальных составляющих требуется добавление реагентов, химически преобразующих компоненты экстрактов или образующих с ними окрашенные комплексы. Тем не менее, такой метод анализа позволяет довольно просто оценить обогащенность растительных экстрактов. Для идентификации отдельных компонентов потребуется использовать другие методы.

Таблица 1 – Диапазоны длин волн излучения, поглощаемого различными растительными компонентами

Table 1 – Wavelength ranges of radiation absorbed by various plant components

Компонент	Диапазоны длин волн, нм
Фукоксантин	максимум 415
Хлорофилл	430–460 и 650–700
Каратиноиды	450–570
Фосфолипиды	240–260
Фитоен	276, 286 и 297
Фитофлуен	331, 348 и 367
Флоротаннины	275–340
Флавоны, флаваноны и гликозиды	254–320
Фенольные кислоты	максимум 365
Органические соединения йода	230, 290, 360

РЕЗУЛЬТАТЫ

При использовании водной экстракции извлекались преимущественно соединения йода, полисахариды, флавоноиды, а большинство компонентов не переходило в раствор. На рисунке 1 представлен спектральный анализ водных экстрактов *Hedophyllum bongardianum.*

В данном эксперименте оценено влияние повышения температуры на качественный и количественный состав экстракта. Как видно из рисунка 1, на протяжении всего изучаемого диапазона длин волн оптическая плотность больше у водной вытяжки, полученной при температуре 80 ºС, что говорит о более высокой концентрации извлеченных веществ. Количество пиков одинаковое у обеих кривых, что показывает отсутствие влияние температуры экстракции на качественный состав продуктов.

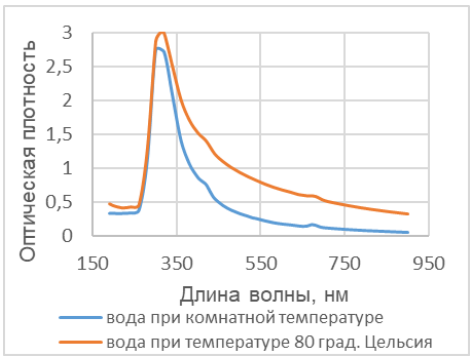


Рисунок 1 – Спектры поглощения водных экстрактов *Hedophyllum bongardianum,* полученных при комнатной температуре и при 80 ºС

Figure 1 – Absorption spectra of aqueous extracts of Hedophyllum bongardianum obtained at room temperature and at 80°C

Далее решено было использовать органические растворители или вещества, которые традиционно применяются при переработке растительного сырья. Часть из них может присутствовать в косметической композиции (пропиленгликоль, глицерин, вазелиновое масло), другие – этиловый спирт, ацетон, гексан имеют низкую температуру кипения, и могут быть удалены из экстракта относительно легко технологически и при невысоких затратах энергии.

Полярные органические растворители (рисунок 2) – более эффективные экстрагенты активных веществ из ламинарии, чем вода. Ацетоновый экстракт получился наиболее концентрированным из всех по извлеченным компонентам, однако этанольный превосходит по качественному составу – на его спектральной кривой наибольшее количество пиков.

Глицерин имеет высокую вязкость, его экстракт был менее прозрачным, что отразилось на кривой поглощения.

Степень извлечения компонентов из биомассы водорослей у глицерина и пропиленгликоля относительно невысокая, но они, как и вода, извлекают вещества, поглощающие в коротковолновой области спектра – 280–300 нм.

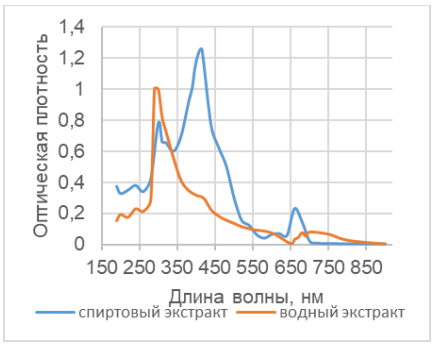


Рисунок 2 – Спектры поглощения экстрактов Hedophyllum bongardianum, полученных при использовании полярных органических растворителей

Figure 2 – Absorption spectra of Hedophyllum bongardianum extracts obtained using polar organic solvents

На рисунке 3 представлены спектры поглощения излучения компонентами фукоксантина. Ввиду того, что основного вещества в препарате наибольшее количество, ему соответствует пик с максимумом поглощения при длине волны 415 нм.

Большее количество пиков имеет кривая этанольного экстракта, что еще раз подтверждает его наилучшую экстрагирующую способность.

Обилие пиков на кривых, полученных при анализе экстрактов с гексаном и вазелиновым маслом, показывает извлечение множества компонентов, но значение оптической плотности позволяет оценить концентрацию экстракта как более низкую, чем при использовании полярных веществ. Кроме того, неполярные растворители не извлекают из биомассы водорослей углеводы – маннит, фукоиданы, ламинараны, альгинаты.

Масляный экстракт, полученный при двухфазной экстракции и последующем концентрировании, является наиболее обогащенным как по качественному, так и по количественному составу.

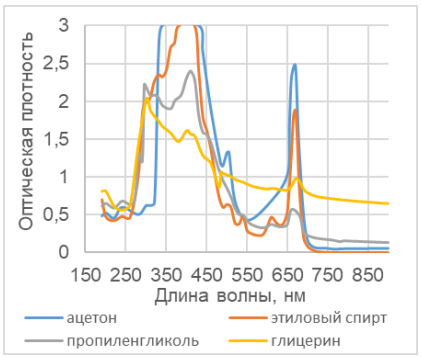


Рисунок 3 – Спектры поглощения экстрактов препарата «Фукоксантин»

Figure 3 – Absorption spectra of Fucoxanthin extracts

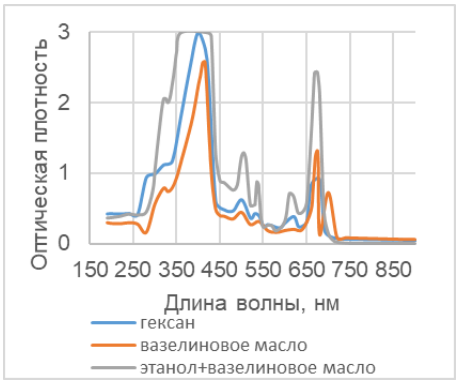


Рисунок 4 – Спектры поглощения экстрактов Hedophyllum bongardianum, полученных при использовании неполярных органических растворителей и двухфазного экстрагента

Figure 4 – Absorptionspectra of Hedophyllum bongardianum extracts obtaine dusingnonpolar organic solvents and a two-phase extractant

ОБСУЖДЕНИЕ

Сопоставляя результаты экспериментов с разными экстрагентами, отмечаем следующее:

1) неполярные органические растворители имеют хорошую способность экстрагировать большое количество компонентов из ламинарии, но по степени извлечения уступают полярным;

2) водные экстракты являются низкоконцентрированными, но, в отличие от органических веществ, извлекают в большем количестве вещества, поглощающие в коротковолновом диапазоне;

3) повышение температуры в случае водной экстракции увеличивает полноту извлечения отдельных компонентов водорослей, но не обогащает качественный состав;

4) двухфазная экстракция позволяет получать продукты с наиболее полным набором ценных компонентов для косметических средств;

5) для полноты извлечения целесообразно сочетать в экстрагенте легколетучие вещества с хорошей растворяющей способностью (ацетон, этанол, гексан) с такими, как пропиленгликоль, глицерин и вазелиновое масло, в которых извлеченные компоненты будут концентрироваться;

6) органические экстракты в отличие от водных характеризуются малым содержанием веществ, поглощающих в диапазоне 280–350 нм, а именно эти компоненты обеспечивают защиту кожи, поглощая УФ-излучение;

7) у таких растворителей, как ацетон и этанол, имеется существенный недостаток: они денатурируют белки, что снижает биологическую ценность экстрактов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для косметических средств представляют ценность практически все компоненты водорослей *Hedophyllum bongardianum*. Исходя из этого, можно рекомендовать экстрагирование этанольно-масляными смесями с получением после выделения этанола, масляного экстракта с высокими концентрациями полисахаридов, флавоноидов, ламинарина, фосфолипидов. Экстракт будет содержать такие ценные компоненты, как фукоидан, маннит, фукоксантин, что крайне необходимо для процессов биоревитализации и регенерации кожи.

Масляная форма экстрактов будет технологически предпочтительна при введении их в такие продукты, как баттеры, массажные масла. В тоники и гели целесообразно добавлять водорослевые экстракты на гликолиевой или глицериновой основе.

Для создания антивозрастной косметики в экстракте ламинарии необходимо наличие соединений, экстрагируемых как органическими растворителями, так и переходящих в воду. Последние также целесообразно вводить в солнцезащитные косметические композиции.

Ценным составом, но относительно низким содержанием будут отличаться экстракционные композиции, полученные при использовании водно-глицериновых или водно-гликолиевых систем, т.е. не агрессивные к биологическим соединениям.

Исследование выполнено в рамках Межведомственной программы комплексных научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий, реализуемый ФГБОУ ВО «КамГУ им. Витуса Беринга».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонова Н.Б., Микляева И.М., Рябова Н.В., Малхазова С.М. Современное состояние и перспективы использования целебных ресурсов Камчатки // Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2018. № 6, С. 10–17. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe - sostoyanie-i-perspektivy-ispolzovaniya-tselebnyh-resursov-kamchatki/viewer (дата доступа 16.02.2026).

2. Мурадов С.В. Мониторинг санитарно-микробиологического состояния лечебной грязи озера Утиного (Камчатский край) за 50 лет эксплуатации месторождений // Научный журнал Фундаментальные исследования, 2013. № 6, С. 913–917. URL: https://fundamental-research.ru/ article/view?id=31662&ysclid=mlpihlm55b250261040 (дата доступа 16.02.2026).

3. Мурадов С.В. Экологические взаимодействия термоминеральных вод и автохтонной микрофлоры илового сульфидного пелоида // Вестник КамчатГТУ, 2018. № 45, С. 98–102. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-vzaimodeystviya-termomineralnyh-vod-i-avtohtonnoy-mikroflory-ilovogo-sulfidnogo-peloida/viewer (дата доступа 16.02.2026).

4. Степанов С.В., Устинова Л.В., Плаксен Н.В. Разработка косметических средств на основе природных биологически активных веществ Камчатского края // Тихоокеанский медицинский журнал, 2014. № 2, С. 61–63. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-kosmeticheskih-sredstv-na-osnove-prirodnyh-biologicheski-aktivnyh-veschestv-kamchatskogo-kraya/viewer (дата доступа16.02.2026).

5. Евсеева С.Б., Сысуев Б.Б. Экстракты растительного сырья как компоненты косметических и наружных лекарственных средств: ассортимент продукции, особенности получения (обзор) // Фармация и фармакология. 2016. № 3, С. 4–37. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekstrakty-rastitelnogo-syrya-kak-komponenty-kosmeticheskih-i-naruzhnyh-lekarstvennyh-sredstv-assortiment-produktsii-osobennosti/viewer (дата доступа 16.02.2026).

6. Бутова С.Н., Щеголева И.Д., Тхоржевская К.А. Получение экстрактов косметического назначения из микроводоросли Chlorella Vulgaris // Физические и химические методы переработки сельхозпродукции. 2018. № 3, С. 20–24. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-ekstraktov-kosmeticheskogo-naznacheniya-iz-mikrovodorosli-chlorella-vulgaris/viewer (дата доступа 16.02.2026).

7. Усольцева Р.В., Звягинцева Т.Н., Ермакова С.П. Структурное разнообразие ламинаранов бурых водорослей, перспективы их использования // Вестник ДВО РАН.

2019. № 5, С. 84–89. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/strukturnoe-raznoobrazie-laminaranov-buryh-vodorosley-perspektivy-ih-ispolzovaniya/viewer (дата доступа 16.02.2026).

8. Мунгалова В.Р., Климова А.В. Опыт комплексного подхода к переработке и рациональному использованию ламинариевых водорослей в Камчатском крае // XVI Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. С. 89–96. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-kompleksnogo-podhoda-k-pererabotke-i-ratsionalnomu-ispolzovaniyu-laminarievyh-vodorosley-v-kamchatskom-krae/viewer (дата доступа 16.02.2026).

9. Гребнев Д.Ю., Маклакова И.Ю., Титова Д.И., Пермяков Н.С. Геропротекторные свойства фукоксантина // Уральский медицинский журнал. 2022. Т. 1, № 5. С. 94–101. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/geroprotektornye-svoystva-fukoksantina/viewer(дата доступа 16.02.2026).

10. Паршина А.Э., Маматмуродов Х.Б., Боголицын К.Г., Поломарчук Д.А., Попов Н.В. Сравнение экстракционной эффективности органических растворителей и бинарных систем для получения биологически активных комплексов арктических бурых водорослей // Химия растительного сырья. 2023. № 4. С. 165–178. DOI: 10.14258/jcprm.20230412553/ URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-ekstraktsionnoy-effektivnosti-organicheskih-rastvoriteley-i-binarnyh-sistem-dlya-polucheniya-biologicheski-aktivnyh?ysclid=mlpl3rslb50528349 (дата доступа 16.02.2026).

11. Глазырин А.Ю., Сараева С.Ю., Козицина А.Н., Герасимова Е.Л., Матерн А.И. Оптические методы в фармацевтическом анализе : лаборатор. практикум : учеб.-метод. пособие / под общ. ред. С.Ю. Сараевой; Мин-во образования и науки РФ, Урал. федер. ун-т. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. 96 с.

Информация об авторах

Л. А. Виниченко – аспирант 1-го года обучения, м.н.с. лаборатории биогеохимии и рекреационных ресурсов, специалист по сопровождению научных проектов «КамГУ им. Витуса Беринга».

Т. В. Луковникова – лаборант-исследователь лаборатории биогеохимии и рекреационных ресурсов «КамГУ им. Витуса Беринга».

О. М. Горелова – кандидат технических наук, доцент Международной кафедры ЮНЕСКО «Инженерная экология» института биотехнологий, пищевой и химической инженерии АлтГТУ.

Information about the authors

L.A. Vinichenko - is a graduate student of the 1st year of study, M.Sc. of the Laboratory of Biogeochemistry and Recreational Resources, a specialist in the support of scientific projects at «KamSU. Vitus Bering».

T.V. Lukovnikova - is a research laboratory assistant at the Laboratory of Biogeochemistry and Recreational Resources. «KamSU. Vitus Bering».

O.M. Gorelova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the International UNESCO Department "Engineering Ecology" of the Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering 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 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 220–223.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 220–223.

Научная статья
2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК620.179.16
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.034 EDN: SVSGPX

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ИМПЕДАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Роман Владиславович Барсуков [1], Александр Романович Барсуков [2], Алексей Николаевич Сливин [3], Владислав Анатольевич Шакура [4]

[1, 2, 3, 4] Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск, Россия
[1] roman@bti.secna.ru
[2] barsukov.ar@bti.secna.ru
[3] san@bti.secna.ru
[4] shakura.va@u-sonic.ru

Аннотация. *Статья посвящена разработке системы контроля импедансных характеристик ультразвуковых излучателей в процессе сварки термопластичных полимерных материалов. Результаты работы направлены на совершенствование оборудования, предназначенного для реализации ультразвуковой сварки полимерных материалов, повышение качества изделий, получаемых путем ультразвуковой сварки. Интеграция предлагаемой системы в существующее оборудование позволит оперативно, косвенным образом контролировать все стадии ультразвуковой сварки (разогрев, начало пластификации, пластификация, переход в вязкотекучее состояние, текучее состояние и т.д.). Предложена структура системы контроля, а также представлены зависимости импеданса ультразвукового излучателя, его действительно и мнимой составляющих в ходе воздействия на свариваемый полимерный материал, полученные в процессе работы разработанной системы контроля.*

Ключевые слова: *ультразвук, контроль, сварка, полимеры, воздействие на вещество, качество.*

Благодарности: *Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-00314, https://rscf.ru/project/24-22-00314/.*

Для цитирования: Система контроля импедансных характеристик ультразвуковых излучателей в процессе сварки термопластичных полимерных материалов / Р. В. Барсуков [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 220–223. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.034. EDN: https://elibrary.ru/SVSGPX.

Original article

SYSTEM FOR MONITORING ULTRASONIC EMITTERS IMPEDANCE CHARACTERISTICS IN THE WELDING THERMOPLASTIC POLYMERIC MATERIALS PROCESS

Roman V. Barsukov [1], Aleksandr R. Barsukov [2], Alexey N. Slivin [3], Vladislav A. Shakura [4]

[1, 2, 3, 4] Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, Biysk, Russia
[1] roman@bti.secna.ru
[2] barsukov.ar@bti.secna.ru
[3] san@bti.secna.ru
[4] shakura.va@u-sonic.ru

Abstract. *The article is devoted to the development of a system for monitoring ultrasonic emitters impedance characteristics in the process of welding thermoplastic polymer materials. The results of the work are aimed at improving the equipment intended for the implementation of polymer materials ultrasonic welding improving the quality of products obtained by ultrasonic welding. The integration of the proposed system into the existing equipment will make it possible to control all stages of ultrasonic welding quickly, indirectly (warming up, beginning of plasticization, plasticization, transition to a viscous state, a fluid state, etc.). The structure of the control system is proposed, as well as the dependences of the impedance of the ultrasonic emitter, its real and imaginary components during the impact on the welded polymer material, obtained during the operation of the developed control system.*

© Барсуков Р. В., Барсуков А. Р., Сливин А. Н., Шакура В. А., 2026

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ИМПЕДАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Keywords: *ultrasonic, control, friction, polymers, impact on substance, quality*.
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., Barsukov, A.R., Slivin, A.N. & Shakura, V.A. (2025). System for monitoring ultrasonic emitters impedance characteristics in the welding thermoplastic polymeric materials process. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 220-223. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.034. EDN: https: //elibrary.ru/SVSGPX.

ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковая (УЗ) сварка полимерных материалов широко используется в промышленности и является в настоящее время востребованной [1, 2, 3]. Данный способ сварки в ряде случаев выгодно отличается от других существующих способов сварки полимерных материалов по качеству и скорости формирования сварных соединений, требованию к чистоте соединяемых поверхностей, стоимости существующего оборудования. Несмотря на то, что технология УЗ сварки полимерных материалов существует достаточно давно, вопросы качества формируемых сварных соединений до сих пор являются актуальными, а исследования, в том числе и фундаментальные, в этой области до сих пор ведутся многими учеными [4].

Известны следующие способы контроля процесса сварки полимерных термопластичных материалов:

- по изменению амплитуды колебаний рабочего инструмента в процессе сварки при фиксированном напряжении питания УЗ излучателя;
- по изменению потребляемой мощности сварочным аппаратом при фиксированной амплитуде УЗ воздействия;
- по изменению величины электрического тока, протекающего через УЗ излучатель в процессе сварки при фиксированном напряжении питания УЗ излучателя;
- по изменению параметров УЗ излучателя в процессе сварки, таких как резонансная частота;
- по потребленной энергии, необходимое количество которой должно быть заранее известно;
- по тепловыделению в зоне формирования сварного соединения;
- по величине осадки свариваемых материалов в процессе формирования сварного соединения;
- по динамике перемещения рабочего инструмента в процессе формирования сварного соединения.

Поскольку УЗ излучатель непосредственно контактирует со свариваемыми материалами, акустические свойства которых меняются в ходе УЗ сварки, очевидно, что импеданс излучателя будет так же изменяться, что может быть использовано для контроля процесса сварки термопластичных полимерных материалов.

МЕТОДЫ

В процессе УЗ сварки полимерный материал находится в различных состояниях (твердое, пластичное, вязкое, вязкотекучее, текучее), что определяет его различные акустические свойства.

Излучатель ультразвуковых колебаний, как нагрузка на электронный генератор, имеет комплексное сопротивление, величина и характер которого определяется его собственными механическими и электромеханическими параметрами [5]. С другой стороны, импеданс УЗ излучателя зависит от акустической нагрузки, влияние которой может быть достаточно сильной.

Влияние акустической нагрузки на импеданс УЗ излучателя, с одной стороны, является нежелательным явлением, поскольку это может являться причиной сбоев в работе УЗ аппаратов, изменения их параметров. С другой стороны, связь акустических свойств свариваемых полимерных материалов с импедансом УЗ излучателей может быть использована для контроля физических параметров этих сред, контроля процессов в них протекающих (контроль процесса сварки).

Одним из направлений развития УЗ аппаратов для сварки полимерных материалов является их оснащение системой контроля импеданса УЗ излучателей, которые работают в силовом режиме и воздействуют на акустическую нагрузку. На рисунке 1 представлена блок-схема такой системы контроля.

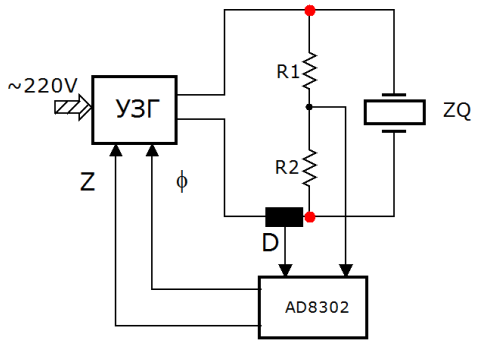


Рисунок 1 – Блок-схема измерителя импеданса УЗ излучателей

Figure 1 – Block diagram of the ultrasonic emitter impedance meter

При помощи резистивного делителя R1, R2, токового датчика D, формируются сигналы, пропорциональные напряжению и току, потретребляемым УЗ излучателем ZQ. В качестве узла, реализующего формирование сигнала, пропорционального отношению напряжения и тока, протекающего через УЗ излучатель, а также сигнала, пропорционального их фазовому соотношению, используется микросхема AD8302 (фирма Analog Device) [6], которая представляет собой аппаратно реализованный измеритель усиления / затухания и фазы сигналов. Структура этой микросхемы представлена на рисунке 2. Она состоит из сдвоенного логарифмического усилителя-измерителя амплитуды и фазового детектора.

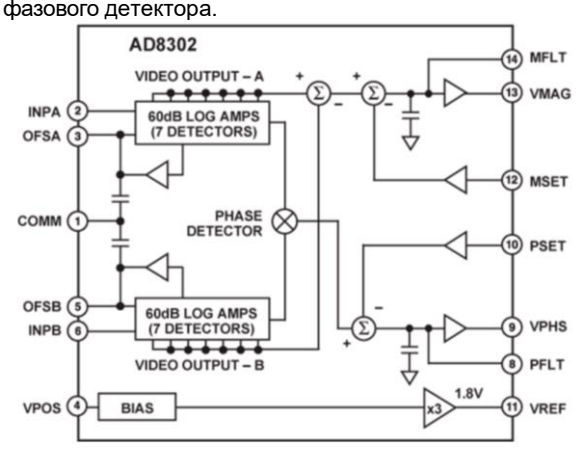


Рисунок 2 – Структура микросхемы AD8302

Figure 2 – The structure of the AD8302 chip

В процессе работы микросхемы AD8302 в составе измерителя импеданса УЗ излучателя на ее выходах Vmag и Vphs формируются два аналоговых сигнала. Первый сигнал (Vmag) пропорционален отношению амплитуд входных сигналов, второй (Vphs) – разности их фаз. По этим двум значениям можно рассчитать все характеристики УЗ преобразователя (активное смопротивление Re, реактивную Im составляющие входного сопротивления УЗ излучателя и комплексное сопротивление Z=Re+jIm). Кроме того, если эти измерения проводить в процессе перестройки частоты задающего генератора УЗ аппарата, то возможно получение частотных зависимостей данных параметров. Сформированные микросхемой AD8302 сигналы поступают на входы АЦП управляющего микроконтроллера УЗ генератора.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 3 представлен эскиз зоны воздействия на образец полимерного материала при ультразвуковой сварке [7, 8], где: 1 – рабочий инструмент УЗ сварочной головки; 2 – неподвижная опора, на которой располагаются свариваемые материалы; 3 – термопластичный полимерный материал; 4 – термопластичный материал после УЗ воздействия. Ультразвуковое воздействие на образец термопластичного материала осуществляется с амплитудой рабочего инструмента *A* и статическим усилием, равным *F*. При поглощении полимерным материалом ультразвуковой энергии происходит его размягчение и переход из твердого состояния в текучее, при этом величина зазора ΔX будет уменьшаться вплоть до нуля при полном вытеснении расплава полимерного материала из зоны ультразвукового воздействия.

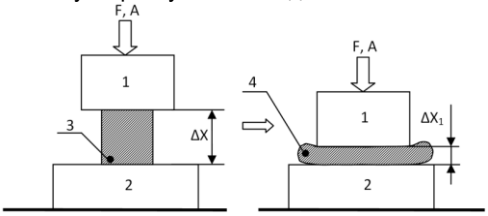


Рисунок 3 – Схема воздействия УЗ колебаний на полимерный образец

Figure 3 – Diagram of the effect of ultrasonic vibrations on a polymer sample

На рисунке 4 представлены кривые, характеризующие изменение импеданса УЗ излучателя Z, его активной Re и реактивной Im составляющих, полученные в процессе работы сварочного аппарата в режиме ультразвукового воздействия полимерный термопластичный материал.

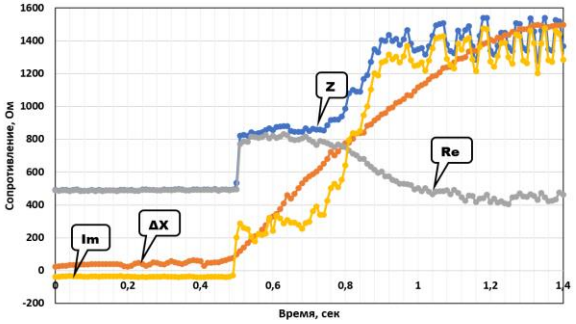


Рисунок 4 – Зависимость импеданса УЗКС во времени

Figure 4 – Time dependence of the impedance of the UZKS

На рисунке 4, кроме импедансных кривых, в том же временном масштабе представлена кривая деформирования образца ΔX, которая позволяет сопоставить различные фазы деформирования зоны ультразвукового воздействия с изменением импеданса УЗ излучателя.

Из представленых на рисунке 4 кривых видно, что на интервале времени t = 0 … 0,49 с (при наличии УЗ воздействия) контролируемые параметры стабильны, что свидетельствует о том, что импеданс твердого полимерного материала не меняется (слабо изменяется) в процессе его разогрева.

В момент времени t = 0,49 с начинается деформирование зоны УЗ воздействия, возникает хороший акустический контакт рабочего инструмента с «прогретым» образцом, и как следствие наблюдается резкое увеличение импеданса Z на 380 Ом, его активной составляющей Re на 330 Ом, реактивной стоставляющей на 360 Ом.

На интервале времени t = 0,49…0,72 с, наблюдается относительная стабилизация параметров Z, Re, Im, при этом в концу этого интервала деформировано около 40 % толщины свариваемого образца.

На интервале времени t = 0,72…1,4 с наблюдается рост импеданса и его мнимой составляющей. Они достигают значений в среднем 1300 Ом. Действительная составляющая импеданса начинает уменьшаться и устремляется к значению 420 Ом, что меньше начального значения на 70 Ом.

Характер кривых, представленых на рисунке 4, свойствен различным режимам УЗ воздействия на свариваемые полимерные материалы (различные амплитуды УЗ воздействия, различное статическое давление на рабочий инструмент). Предварительные эксперименты по свариванию листовых материалов одинаковой толщины показали, что максимальную прочность сварное соединение набирает при экспозиции УЗ колебаниями зона сварки до момента появления второго скачка на кривой изменения импеданса Z, что легко контролируется на стороне электронного УЗ генератора и может являться критерием достижения оптимального УЗ воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показана принципиальная возможность оперативного косвенного контроля процесса сварки термопластичных полимерных материалов за счет непрерывного контроля импеданса (и его составляющих) УЗ излучателя, работающего в силовом режиме, в процессе реализации сварного соединения. Получены зависимости импеданса УЗ излучателя, его действительной и мнимой составляющих, в ходе деформирования термопластичного полимерного материала в присутствии УЗ воздействия и статического давления излучающего ультразвукового рабочего инструмента. Характерные особенности полученных зависимостей позволяют определять оптимальные временные интервалы УЗ воздействия на свариваемые материалы для получения максимальной прочности сварных соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ультразвук в комбинированных технологиях машиностроения / В.М. Приходько [и др.] // Наукоёмкие технологии электро-физико-химической и комбинированной обработки. 2020. № 9. С. 21–26.

2. Villegas I.F. Ultrasonic welding of thermoplastic composites // Frontiers in Materials. 2019. Vol. 6. doi:

10.3389/fmats.2019.00291.

3. A review on ultrasonic welding of various materials and their mechanical properties / S. Titahun [et al.] // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 988. doi: 10.1016/j.fuel.2019.03.011.

4. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве / В.Н. Хмелёв [и др.]. Бийск : Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (АлтГТУ), 2007. 400 с.

5. Ультразвук. Принципы построения, алгоритмы и системы управления ультразвуковыми аппаратами / В.Н. Хмелёв [и др.]. Бийск : Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (АлтГТУ), 2021. 200 с.

6. LF–2.7 GHz RF/IF Gain and Phase Detector. URL: https://www.micro-semiconductor.com/datasheet/64-AD8302ARUZ-REEL.pdf (дата обращения: 26.09.2025).

7. Стенд для исследования динамики осадки полимерных материалов в процессе воздействия на них ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности / Р.В. Барсуков [и др.] // Механика композиционных материалов и конструкций. 2025. Т. 31, № 1. С. 117–126. doi: 10.33113/mkmk.ras.2025.31.01.09.

8. Барсуков Р.В., Шакура В.А., Барсуков А.Р., Сливин А.Н. Стенд для исследования осадки полимеров в процессе воздействия на них ультразвуковыми колебаниями // Техническая акустика: разработки, проблемы, перспективы (ТА2025) : сборник материалов V Международной научной конференции. Тольятти : Тольяттинский государственный университет, 2025. С. 61–62.

Информация об авторах

Р. В. Барсуков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Методов и средств 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 – старший преподаватель кафедры «Методов и средств 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 «Методов и средств измерений и автоматизации» Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

В. А. Шакура – младший научный сотрудник отдела научно-исследовательской работы сотрудников и преподавателей Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова».

REFERENCES

1. Prikhodko, V.M. [et al.]. (2020). Ultrasound in combined technologies of mechanical engineering. *Science-Intensive Technologies of Electro-Physical, Chemical and Combined Processing*, (9), 21–26. (In Russ.).

2. Villegas, I.F. (2019). Ultrasonic welding of thermoplastic composites. *Frontiers in Materials*, 6. doi: 10.3389/fmats.2019.00291.

3. Titahun, S. [et al.]. (2020). A review on ultrasonic welding of various materials and their mechanical properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 988. doi: 10.1016/j.fuel.2019.03.011.

4. Khmelev, V.N. [et al.]. (2007). *Ultrasonic multi-functional and specialized devices for the intensification of technological processes in industry, agriculture and household*. Biysk: Altay State Technical University. (In Russ.).

5. Khmelev, V.N. [et al.]. (2021). Ultrasound: Principles of design, algorithms and control systems of ultrasonic devices. Biysk: Altay State Technical University. (In Russ.).

6. *LF–2.7 GHz RF/IF Gain and Phase Detector*. Retrieved from: https://www.micro-semiconductor.com/datasheet/ 64-AD8302ARUZ-REEL.pdf.

7. Barsukov, R.V., Shakura, V.A., Barsukov, A.R. & Slivin, A.N. (2025). Test bench for studying the dynamics of polymer material compaction under high-intensity ultrasonic vibrations. *Mechanics of Composite Materials and Structures*, 31(1), 117–126. (In Russ.). doi: 10.33113/ mkmk.ras.2025.31.01.09.

8. Barsukov, R.V., Shakura, V.A., Barsukov, A.R. & Slivin, A.N. Test bench for studying polymer compaction under ultrasonic vibration. *Proceedings of the 5th International Scientific Conference: Technical Acoustics: Developments, Problems, Prospects (TA2025)*. Tolyatti: Tolyatti State University. (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.

A.R. Barsukov - Senior Lecturer 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.

V.A. Shakura - Junior Research Fellow, Department of Research Work of Staff and Faculty 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 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 224–229.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 224–229.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки).
УДК 621
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.035 EDN:TMWVIT

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ УГЛЕПЛАСТИКА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Михаил Михайлович Копырин [1], Марк Григорьевич Петров [2], Олег Владимирович Старцев [3], Михаил Петрович Лебедев [4]

[1, 2, 3] Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, Россия
[1] mkopyrin91@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-8204-0000
[3] startsevov@gmail.com, https://orcid.org/0009-0007-8231-7157
[4] m.p.lebedev@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0086-9921
[4] Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А., Новосибирск, Россия,
[4] mark-stein@list.ru, https://orcid.org/0000-0000-0000-0000

Аннотация. *В статье приведены результаты экспериментального исследования влияния арктических климатических факторов на физико-механические свойства углеродных полимерных композиционных материалов. Объектом исследования служили пластины углепластика, экспонированные в различных условиях: в помещении (контроль), на открытой площадке при естественном климатическом воздействии и при искусственном термогигроциклировании. В ходе экспонирования контролировались масса и геометрические параметры образцов, а также оценивалась сорбция влаги. Изменение массы аппроксимировалось по модели диффузии Фика; для термогигроциклированных пластин определён коэффициент диффузии D = 0,215 мм²/сут при R² = 0,92, что указывает на высокую точность описания экспериментальных данных. Испытания на продольный изгиб при различных скоростях нагружения (0,01–1 мм/с) показали, что после климатического воздействия прочность изменяется незначительно, но различия между сериями выражены. Образцы, экспонированные в естественных условиях, показали повышение прочности до 6 %, тогда как при термогигроциклировании прочность снизилась до 19 %. Установлено, что циклические перепады температуры и влажности вызывают накопление микроповреждений и внутренних напряжений, что ведёт к деградации структуры и снижению долговечности материала.*

Ключевые слова: *углепластик, полимерный композиционный материал, арктические условия, климатическое старение, термогигроциклирование, диффузия влаги, прочность, долговечность.*
Финансирование: *Работа выполнена в рамках ГЗ МОН РФ №FWRS-2025-0027.*

Для цитирования: Экспериментальная оценка прочности углепластика после воздействия отрицательных температур / М. М. Копырин [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 224–229. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.035. EDN: https://elibrary.ru/TMWVIT.

Original article

EXPERIMENTAL EVALUATION OF CARBON FIBER COMPOSITE STRENGTH AFTER EXPOSURE TO SUBZERO TEMPERATURES

Mikhail M. Kopyrin [1], Mark G. Petrov [2], Oleg V. Startsev [3], Mikhail P. Lebedev [4]

[1, 2, 3] Federal Research Centre “The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Yakutsk, Russia
[1] mkopyrin91@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-8204-0000
[3] startsevov@gmail.com, https://orcid.org/0009-0007-8231-7157
[4] m.p.lebedev@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0086-9921
[4] S.A. Chaplygin Siberian Aeronautical Research Institute, Novosibirsk, Russia,
[4] mark-stein@list.ru, https://orcid.org/0000-0000-0000-0000

Abstract. *The article presents the results of an experimental study on the influence of Arctic climatic factors on the physical and mechanical properties of carbon fiber polymer composite materials. The research focused on carbon fiber-reinforced plastic, exposed under different conditions: indoors (control), outdoors under natural climatic influences, and under artificial thermo-hygrocycling. During exposure, the specimens’ mass and geometric parameters were monitored, and moisture sorption was evaluated. The mass change was approximated using Fick’s diffusion model; for thermo-hygrocycled plates, the diffusion coefficient was determined as D = 0.215 mm²/day with R² = 0.92, indicating high accu-*

© Копырин М. М., Петров М. Г., Старцев О. В., Лебедев М. П., 2026

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ УГЛЕПЛАСТИКА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

racy of the experimental fit. Longitudinal bending tests at various loading rates (0.01-1 mm/s) showed that after climatic exposure, strength varied slightly, though the trends were distinct. Samples exposed under natural conditions demonstrated up to a 6% increase in strength, while thermo-hygrocycled specimens exhibited a decrease of up to 19%. It was established that cyclic fluctuations of temperature and humidity lead to the accumulation of microdefects and internal stresses, resulting in structural degradation and reduced durability of the material.

Keywords: *carbon fiber composite, polymer composite material, Arctic conditions, climatic aging, thermo-hygrocycling, moisture diffusion, strength, durability.*

Funding: *The study was funded by the State Assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. FWRS-2025-0027.*

For citation: Kopyrin, M. M., Petrov, M. G., Startsev, O. V. & Lebedev, M. P. (2026). Experimental evaluation of carbon fiber composite strength after exposure to subzero temperatures. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 224-229. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.035. EDN: https: //elibrary.ru/TMWVIT.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост интереса к применению полимерных композиционных материалов (ПКМ) в авиационной, космической, энергетической и транспортной отраслях, что обусловлено их уникальным сочетанием низкой плотности, высокой удельной прочности и жёсткости, а также коррозионной стойкостью и возможностью оптимизации конструкции по массе. Широкое распространение ПКМ связано также с развитием технологий направленного армирования, препрегов и автоклавного формования, позволяющих получать изделия со стабильными эксплуатационными характеристиками и высокой точностью геометрии. Среди различных типов композиционных материалов особое внимание уделяется углерод-армированным пластикам (УП), которые благодаря своей высокой удельной прочности и жёсткости, устойчивости к усталостным нагрузкам и химическим воздействиям стали неотъемлемым элементом современных ответственных конструкций [1–3].

При этом требования к надёжности и долговечности таких материалов в условиях эксплуатации возрастают, особенно при воздействии экстремальных факторов внешней среды – резких колебаний температуры, повышенной влажности, ультрафиолетового излучения и кислородсодержащих атмосфер [4, 5]. Эти воздействия могут вызывать деградацию матрицы, ослабление межфазного взаимодействия и накопление остаточных напряжений, что приводит к изменению физико-механических свойств, в частности модуля упругости, температуры стеклования и коэффициента линейного термического расширения.

Воздействие перепада температур на эксплуатационные характеристики углепластиков обусловлено особенностями термомеханического поведения как полимерной матрицы, так и армирующих волокон, которые по-разному реагируют на охлаждение и последующее нагревание. При циклических переходах через нулевую температуру в материале возникают значительные внутренние напряжения, связанные с различиями в коэффициентах термического расширения компонентов композита [6]. Накопление таких напряжений в процессе многократного термоциклирования приводит к постепенному развитию микроповреждений, локальной деформации матрицы и инициированию межслоевых дефектов. С течением времени наблюдается ослабление межфазной адгезии, расслоение и образование микротрещин как в матрице, так и на границе раздела «волокно–матрица», что снижает эффективность передачи нагрузки между компонентами и, как следствие, уменьшает несущую способность материала. Кроме того, возникающие при этом внутренние дефекты нарушают целостность структуры и снижают демпфирующие свойства композита, ухудшая его способность к поглощению вибрационных и ударных воздействий [7, 8]. На микроскопическом уровне эти процессы сопровождаются изменением релаксационного поведения связующего, перераспределением остаточных напряжений и развитием зон локальной пластичности, что приводит к частичной перестройке надмолекулярной структуры полимера. В результате меняются ключевые физико-механические параметры углепластика – модуль упругости, предел прочности, температура стеклования и тангенс угла механических потерь, что отражает общую деградацию структуры и накопление повреждений в материале [4, 9]. Таким образом, воздействие низких температур и многократные циклы замораживания–оттаивания следует рассматривать как один из наиболее критичных факторов климатического старения углепластиков, оказывающих долговременное влияние на их эксплуатационную надежность и ресурс.

Актуальной задачей является установление изменения прочности углепластика после воздействия перепада и отрицательных температур. Результаты длительных наблюдений показывают, что уже спустя пять лет предел прочности и модуль упругости углепластиков могут снижаться более чем на 20 % [10], что подтверждает необходимость анализа коэффициента относительного сохранения свойств $k_P = P/P_0$, характеризующего степень деградации [11–12].

Таким образом, исследование влияния отрицательных температур на прочностные свойства углепластика имеет важное значение для оценки эксплуатационной надёжности конструкций из ПКМ и разработки методов прогнозирования их ресурса. Цель настоящей работы заключается в экспериментальной оценке изменений прочностных характеристик углепластика после воздействия отрицательных температур.

МЕТОДЫ

Для изучения особенностей влияния арктических климатических факторов на механико-прочностные характеристики ПКМ использовались три пластины препрега УП, сформированные из 12 слоев углеродной ткани марки АСМ С200Т с саржевым переплетением. В качестве связующего применялась эпоксидная смола марки АСМ 102. Размеры полученных пластин составляли 200×300 мм при толщине 2,6–2,7 мм.

Для проведения испытаний на продольный изгиб из данных пластин АСМ 102-С200Т были изготовлены образцы размером 145×30×2,6 мм. Испытания выполнялись на образцах, вырезанных из трех идентичных пластин углепластика, которые предварительно подвергались экспозиции в различных климатических условиях. Нагружение осуществлялось по схеме перемещения подвижной шарнирной опоры испытательной машины BiSS с максимальным усилием 10 кН.

В ходе экспозиции проводился контроль изменений массы и геометрических параметров исследуемого материала

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Ниже, на рисунке 1, проанализированы усреднённые значения ключевых метеорологических параметров для г. Якутска за последние десять лет.

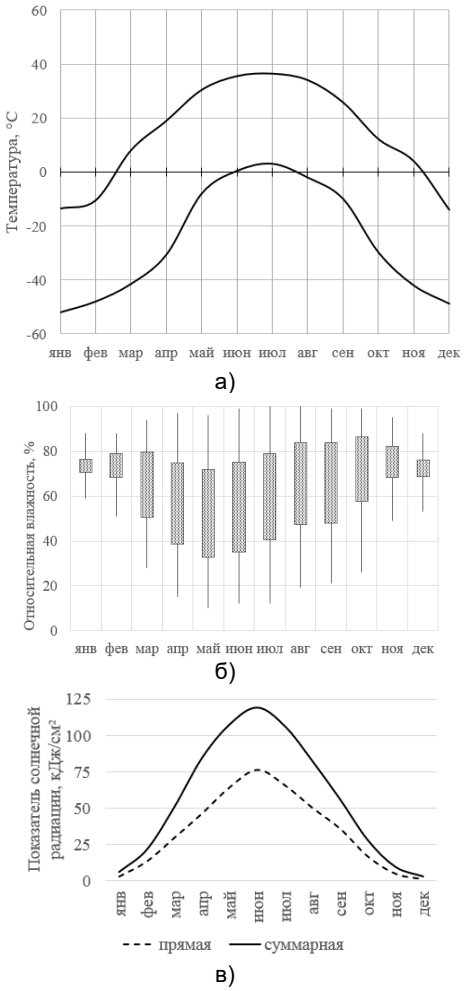


Рисунок 1 – Показатели температуры (а), относительной влажности (б) и солнечной радиации (в) в г. Якутске

Figure 1 – Temperature (a), relative humidity (b), and solar radiation (c) in Yakutsk

Как видно из приведённых данных, климат города Якутска характеризуется как экстремально холодный климат. Стоит отметить, что солнечная радиация и УФ-облучение в период зимы и межсезонья минимальны. Наблюдается длительный период низких температур, удерживающихся на уровне ниже 0 ºС в течение 7-8 месяцев, не считая редких кратковременных понижений температуры, зафиксированных в мае и августе. Диапазон температурных колебаний с переходом через нулевую отметку формируется в период межсезонья – с конца февраля до середины мая и с начала сентября до начала ноября, что в сумме составляет около 5 месяцев. Как было представлено ранее, именно такие циклические переходы температуры через нулевую точку (термофлуктуационные воздействия) оказывают значительное влияние на структуру ПКМ, вызывая внутренние напряжения, микродефекты и, как следствие, снижение его прочностных характеристик и долговечности.

На основании полученных метеорологических данных была разработана схема экспонирования исследуемых образцов. Первая пластина находилась в помещении (в лаборатории) и использовалась в качестве контрольного образца, не подвергавшегося воздействию внешней среды. Вторая пластина в зимний период размещалась на открытой площадке, где испытывала прямое влияние климатических факторов – низких температур, влажности и солнечной радиации. Третья пластина подвергалась ежедневному термогигроциклированию: половину суток она экспонировалась при отрицательных температурах на открытом воздухе, а вторую половину – погружалась в водяную ванну, нагретую до 60 ºС. Такой экспериментальный режим позволил имитировать реальные суточные и сезонные колебания температуры, а также комплексное воздействие климатических факторов на исследуемый материал.

В таблице 1 представлены основные параметры, определяющие условия экспонирования пластин, а также продолжительность воздействия каждого климатического режима.

Таблица 1 – Схема экспонирования пластин

Table 1 – Exposure scheme of the plates

№	Условия	Факторы	Количество времени / циклов
1	Лаборатория (контрольная)	–	–
2	Открытая площадка	RH, T, UV	36 дней
3	Термогигро-циклирование	RH↔100% T↔60 C	36 дней / 30 циклов

На основании полученных весовых данных изменение массы образцов было аппроксимировано методом наименьших квадратов с применением классической модели диффузии Фика:

$$\frac{M(t)}{M_\infty} = 1 - \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\exp\left(-\frac{D}{l^2}(2n+1)^2\pi^2 t\right)}{(2n+1)^2}, \quad (1)$$

где M_∞ – предельное содержание влаги в материале, D – коэффициент диффузии влаги, t – время воздействия влаги, h – половина толщины образца. Адекватность аппроксимации оценивалась по значению коэффициента детерминации R^2, который отражает степень соответствия экспериментальных данных выбранной модели:

$$R^2 = 1 - \sum_{n=1}^{N}\frac{(M(t_n)-M_n)^2}{\left(M_n-\sum_{n=1}^{N}M_n/N\right)^2}. \quad (2)$$

На рисунке 2 представлена зависимость, отражающая усреднённые значения кинетики сорбции влаги в исследуемом материале.

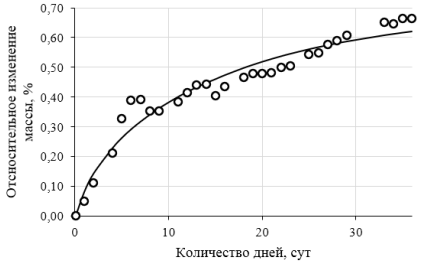


Рисунок 2 – Кинетика сорбции влаги образцов подвергнутых термогигроциклированию

Figure 2 – Moisture sorption kinetics of specimens subjected to thermo-hygrocycling

Усредненный коэффициент диффузии влаги для пластин № 3 составил D = 0,215 мм^2/сут, при этом степень детерминированности аппроксимации равнялась R^2 = 0,92. В таблице 2 приведены результаты изменения массы и толщины исследуемых образцов в процессе экспозиции.

Таблица 2 – Изменение весовых и геометрических показателей пластин

Table 2 – Changes in weight and geometric parameters of the plates

№	Δm, %	Δh, мм
1	+0,02	б/и*
2	+0,03	б/и
3	+0,77	+0,02

* где б/и – без изменений

Образцы, находившиеся в открытых условиях, не продемонстрировали заметных изменений весовых и геометрических параметров. В то же время термогигроциклированные образцы выявили увеличение как массы, так и толщины, что указывает на более интенсивное влагопоглощение и структурные изменения материала под воздействием чередующихся температурно-влажностных циклов.

После проведения экспонирования в различных климатических условиях наибольший интерес представляло изменение прочностных характеристик материала. С этой целью из каждой пластины были вырезаны образцы для испытаний на продольный изгиб. Для оценки состояния материала была выбрана программа нагружения, обеспечивающая наиболее полное проявление его механического отклика. В первом варианте испытаний нагружение осуществлялось по схеме, представленной на рисунке 3.

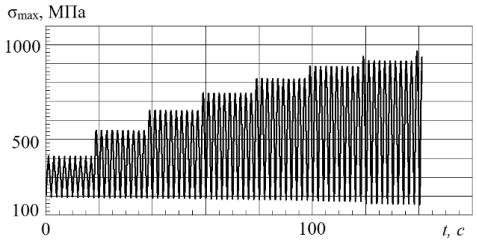


Рисунок 3 – Схема нагружения при испытаниях на продольный изгиб с нарастающей амплитудой

Figure 3 – Loading scheme for longitudinal bending tests with increasing amplitude

Во втором случае испытания выполнялись в режиме монотонного нагружения, при котором перемещение подвижного захвата испытательной машины осуществлялось с тремя фиксированными скоростями: 1 мм/с, 0,1 мм/с и 0,01 мм/с. Соответствующая схема проведения испытаний представлена на рисунке 4.

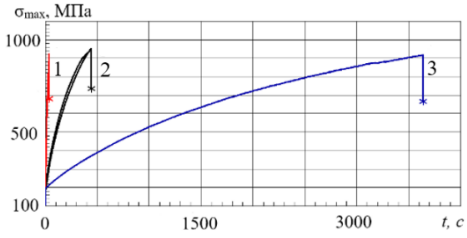


Рисунок 4 – Схема нагружения образцов при различных скоростях: 1 – 1 мм/с, 2 – 0,1 мм/с, 3 – 0,01 мм/с

Figure 4 – Loading scheme of specimens at different speeds: 1 – 1 mm/s, 2 – 0.1 mm/s, 3 – 0.01 mm/s

В таблице 3 приведены усреднённые значения прочностных характеристик образцов из различных пластин при испытаниях с нарастающей амплитудой нагружения.

Таблица 3 – Усреднённые значения прочностных характеристик при нарастающем нагружении

Table 3 – Averaged strength values under increasing load

№ пластины	σ_{max}, МПа	k_P
1	950,7	–
2	1003,6	1,06
3	922,7	0,97

Из данных таблицы видно, что при нарастающем размахе нагружения прочностные характеристики образцов после экспонирования изменяются в сравнительно узком диапазоне. Средние значения прочности образцов из пластины № 2 демонстрируют незначительное повышение – до 6 %, тогда как образцы, подвергавшиеся термовлагоциклированию, напротив, показывают снижение прочности примерно на 3 %. Несмотря на небольшие различия, такие отклонения могут указывать на внутренние структурные преобразования в материале, вызванные воздействием климатических факторов. В таблице 4 представлены усредненные результаты изменения прочности образцов из пластин при различных скоростях нагружения.

Таблица 4 – Усредненные результаты изменения прочности при различных скоростях нагружения

Table 4 – Average values of strength variation at different loading rates

№	Скорость, мм/с	σ_{max}, МПа	k
1	1	923,6	–
	0,1	952,5	–
	0,01	918,3	–
2	1	940,1	1,02
	0,1	952,1	0,99
	0,01	946,1	1,03
3	1	751,4	0,81
	0,1	783,8	0,82
	0,01	835,7	0,91

В данной таблице наиболее наглядно представлено различие во влиянии условий экспонирования на прочностные характеристики образцов из различных пластин. Отчётливо видно, что для пластины № 3 наблюдается снижение прочности, что свидетельствует о воздействии перепадов температуры и влажности, вызывающих возникновение внутренних напряжений в структуре материала и, как следствие, уменьшение его несущей способности. Падение прочности достигает 19 % по сравнению с исходным значением. Средний коэффициент сохранения прочности составил 0,85, что является достаточно заметным снижением, учитывая, что общее количество циклов температурно-влажностного воздействия составило всего 36. Пластина, экспонированная лишь в открытых атмосферных условиях, практически сохранила свои прочностные свойства – средний коэффициент составил 1,01. Наибольший интерес при этом представляет различие во времени разрушения образцов, что подробно показано в таблице 5.

Таблица 5 – Время разрушения в зависимости от скорости нагружения

Table 5 – Failure time depending on the loading rate

№	Скорость, мм/с	Время разрушения, сек
1	1	36,8
	0,1	855,5
	0,01	3637,6
2	1	39,3
	0,1	385
	0,01	3891,9
3	1	27
	0,1	295,4
	0,01	3103,3

Из данных таблицы отчётливо прослеживается кинетика разрушения материала при различных скоростях нагружения. При минимальной (0,01 мм/с) и максимальной (1 мм/с) скоростях деформирования наилучшие прочностные показатели продемонстрировала пластина № 2, экспонированная в открытых атмосферных условиях, где средняя температура в течение 36 суток испытаний варьировала от –45 до –12 ºС. Подобное поведение материала может свидетельствовать о протекании релаксационных процессов в структуре полимера при отсутствии интенсивного солнечного и ультрафиолетового излучения (в зимний период), несмотря на воздействие отрицательных температур. В то же время образцы, подвергавшиеся термогигроциклированию, демонстрировали наименьшее время до разрушения при всех рассмотренных скоростных режимах нагружения, что указывает на повышенную чувствительность материала к циклическому воздействию температуры и влаги. На рисунке 5 представлены данные по усредненным значениям жесткости образцов, полученных при нагружении образцов при различных скоростях. При этом у всех образцов вне зависимости от скорости нагружения, максимумы жесткости доходили в области $\sigma_{сж}$= 500 ± 100 МПа.

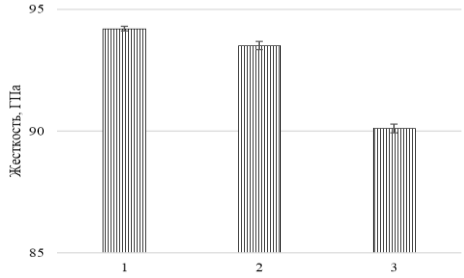


Рисунок 5 – Усредненные показатели жесткости пластин при различных скоростях

Figure 5 – Average stiffness values of the plates at different loading rates

На рисунке показано изменение жёсткости при сжатии для образцов, вырезанных из трёх пластин, экспонированных в различных условиях. Наблюдается снижение жёсткости от контрольных образцов к материалу, подвергшемуся термогигроциклированию. Разница между первыми двумя пластинами незначительна, тогда как у третьей жёсткость заметно ниже (на 4–5 % от контрольной). На рисунке 6 представлен пример разрушения образца из пластины № 3 во время испытаний.

С увеличением длительности нагружения у образцов из пластины 3 наблюдается возрастание степени межслойного расслоения, сопровождающееся изменением характера разрушения материала. По мере роста времени воздействия усиливается деградация связующего и снижается его способность передавать нагрузку между слоями, тогда как для пластин 1 и 2 данный эффект выражен значительно слабее.



Рисунок 6 – Типовое разрушение на примере образца из пластины 3

Figure 6 – Typical failure pattern shown by a specimen from plate 3

Проведённые исследования показали влияние арктических климатических факторов и чередующихся температурно-влажностных циклов на прочностные характеристики ПКМ. Установлено, что наибольшее снижение прочности наблюдается у образцов, подвергшихся термогигроциклированию, что подтверждает их высокую чувствительность к комбинированному воздействию влаги и температуры. В то же время образцы, экспонированные исключительно в естественных условиях в период зимы, практически сохранили исходные механические свойства, что указывает на их устойчивость к длительному воздействию низких температур при отсутствии резких климатических колебаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования показали, что воздействие арктических климатических факторов приводит к заметным изменениям свойств полимерных композиционных материалов, особенно при сочетании температурных и влажностных циклов. Анализ кинетики сорбции влаги подтвердил, что процесс влагопоглощения подчиняется модели диффузии Фика с высокой степенью достоверности аппроксимации. Для пластины № 3, подвергавшейся термогигроциклированию, коэффициент диффузии составил D = 0,215 мм^2/сут, что свидетельствует о более интенсивном проникновении влаги в структуру материала. При этом у остальных пластин, находившихся в помещении и открытых условиях экспонирования, существенных изменений массы и толщины не наблюдалось.

Испытания на продольный изгиб с нарастающим размахом перемещений показали, что прочность материала после экспонирования изменяется незначительно, однако различия между сериями образцов остаются заметными. Образцы из пластины № 2, экспонированные в открытых условиях, продемонстрировали небольшое повышение прочности (до 6 %), тогда как образцы, подвергавшиеся термогигроциклированию, напротив, показали снижение прочности примерно на 3 %.

Результаты испытаний при различных скоростях нагружения подтвердили, что наиболее интенсивная деградация свойств наблюдается у образцов, прошедших термогигроциклирование, снижение прочности достигало 19 % от исходного уровня, усредненный коэффициент сохранения прочности составил 0,85. В то же время пластина, экспонированная только в естественных условиях, практически сохранила исходные механические характеристики (коэффициент равен 1,01).

Анализ времени разрушения показал, что при

низких и высоких скоростях нагружения наибольшую стойкость проявили образцы, экспонированные в открытых условиях, в то время как термогигроциклированные разрушались быстрее при всех скоростных режимах. Это свидетельствует о накоплении внутренних напряжений и дефектов, ускоряющих деградацию структуры.

Таким образом, можно утверждать, что в арктических климатических условиях основное воздействие на прочность ПКМ оказывает именно температурный перепад, тогда как устойчиво низкие температуры сами по себе оказывают минимальное влияние на их структуру и механические характеристики. Наибольшие изменения наблюдаются при чередовании температур выше и ниже нуля, сопровождающемся воздействием влаги, что приводит к термогигронапряжениям, микродефектам в матрице и снижению прочности материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fiber-reinforced composites for aerospace, energy, and marine applications: an insight into failure mechanisms under chemical, thermal, oxidative, and mechanical load conditions / A.K. Hamzat [et al.] // Advanced Composites and Hybrid Materials. 2025. Vol. 8. P. 152. Doi: 10.1007/s42114-024-01192-y.

2. Patole R., Ambhore N., Agrawal D. Carbon composites in aerospace application – a comprehensive review // Materials International. 2023. Vol. 5, № 4. P. 1–12. Doi: 10.33263/Materials54.002.

3. Designing of carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) composites for a second-life in the aeronautic industry: strategies towards a more sustainable future / C. Borges [et al.] // Frontiers in Materials. 2023. Vol. 10. P. 1–12. Doi: 10.3389/fmats.2023.1179270.

4. The Formation of Microcracks during Climatic Aging of Polymer-Composite Materials / M.P. Lebedev [et al.] // Polymer Science. Series D. 2023. Vol. 16, № 1. P. 116–123. Doi: 10.1134/s199542122301015x.

5. The Initial Stage of Climatic Aging of Basalt-Reinforced and Glass-Reinforced Plastics in Extremely Cold Climates: Regularities / A.K. Kychkin [et al.] // Polymers. 2024. Vol. 16, № 7. P. 866. Doi: 10.3390/polym16070866.

6. Измерение и анализ количества циклов «замораживание-оттаивание» эпоксидных стекло- и углепластиков в условиях экстремально холодного климата / А.К. Кычкин [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. 2025. № 3(61). С. 129–141. Doi: 10.25699/SSSB.2025.61.3.017.

7. Jafari A., Ashrafi H., Bazli M., Ozbakkaloglu T. Effect of thermal cycles on mechanical response of pultruded glass fiber reinforced polymer profiles of different geometries // Composite Structures. 2019. Vol. 223. P. 110959. Doi: 10.1016/j.compstruct.2019.110959.

8. Fikry M.J.M., Ogihara S., Vinogradov V. The effect of matrix cracking on mechanical properties in FRP laminates // Mechanics of Advanced Materials and Modern Processes. 2018. Vol. 4. Article No. 3. Doi: 10.1186/s40759-018-0036-0.

9. Коваль Т.В., Велигодский И.М., Громова А.А. Исследование пластифицирующего влияния влаги на свойства ПКМ на основе эпоксидного связующего ВСЭ-34 после 5 лет экспозиции в различных климатических зонах // Труды ВИАМ. 2021. № 9(103). С. 105–116.

10. Virgillito E., Sisca L., Carello M. Influence of freeze-thaw aging on the impact performance of damped carbon fiber reinforced plastics for automotive applications // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, № 8. P. 4020. Doi: 10.3390/app12084020.

11. Effect of accelerated aging temperature under artificial seawater on the properties of carbon fiber/epoxy composites and the erosion mechanism / J. Xu [et al.] // Journal of Wuhan University of Technology – Materials Science Edition. 2024. Vol. 39. P. 1365–1371. Doi: 10.1007/s11595-024-3005-4.

12. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2 (51). С. 47–58. Doi: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.

Информация об авторах

М. М. Копырин – младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».

М. Г. Петров – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Сибирского научно-исследовательского института авиации имени С.А. Чаплыгина.

О. В. Старцев – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».

М. П. Лебедев – академик РАН, доктор технических наук, профессор, генеральный директор Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».

Information about the authors

M.M. Kopyrin - Junior Researcher, Federal Research Center "Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences".

M.G. Petrov - Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Siberian Aeronautical Research Institute named after S.A. Chaplygin.

O.V. Startsev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Federal Research Center "Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences".

M.P. Lebedev - Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director, Federal Research Center "Yakut Scientific Center of the Siberian Branch 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 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 230–235.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 230–235.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки).
УДК621.762.2
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.036 EDN: SRYORS

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА В ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ СИСТЕМЫ Ti–Al–C

Александр Андреевич Ситников [1], Алексей Викторович Собачкин [2], Марина Владимировна Логинова [3], Валерий Юрьевич Филимонов [4], Владимир Иванович Яковлев [5], Андрей Юрьевич Мясников [6], Анастасия Александровна Попова [7], Юрий Николаевич Камышов [8], Александр Викторович Собачкин [9]

[1, 2, 3, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[4] Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия
[6] Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
[8] Барнаульский юридический институт МВД России, Барнаул, Россия
[1] sitalan@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4023-0869
[2] SobachkinAV@altgtu.ru, https://orcid.org/0000-0001-9159-1122
[3] logi_m@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6518-3598
[4] vyfilimonov@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0003-0229-7058
[5] yak1961@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5635-5981
[6] myasnickov.andre@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3289-9087
[7] PopovaAnA@altgtu.ru, https://orcid.org/0009-0002-2863-9546
[8] kamishovun@mail.ru, https://orcid.org/0009-0003-5364-8548
[9] samap@list.ru, https://orcid.org/0009-0005-4131-4019

Аннотация. *В представленной работе проводили исследования по влиянию механической активации на структурно-фазовое состояние порошковых реагентов системы Ti–Al–C, а также выявили особенности реализации самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в подготовленной смеси. Для проведения исследований использовались составы: 1) 78 % Ti + 14 % Al + 8 % C; 2) 80 % Ti + 12 % Al + 8 % C; 3) 81 % Ti + 10 % Al + 9 % C. Механическая обработка порошковых смесей осуществлялась в планетарной шаровой мельнице АГО-2. Длительность обработки составила 7 минут при энергонапряженности 40 g. Механоактивация этих составов приводит к повышению диффузного фона, уменьшению интенсивностей дифракционных отражений компонентов смеси и уширению пиков, а также появляются микродеформации. В зависимости от соотношения компонентов структурные параметры могут как увеличиваться по сравнению с исходными, так и уменьшаться. После реализации высокотемпературного синтеза в порошковой смеси Ti + Al + C установлено, что продукт реакции содержит MAX-фазы Ti_2AlC и Ti_3AlC_2, карбид титана TiC, а также непрореагировавший C. Температура воспламенения составила 1235 ± 15 ºC, максимальные температуры синтеза достигают 1800 ± 15 ºC. При двухминутной высокотемпературной выдержке наблюдается стабилизация продуктов реакции, что выражается в уменьшении уровня диффузного фона на дифрактограммах.*

Ключевые слова: *MAX-фазы, Ti–Al–C, механическая активация, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, структурные параметры, фазовый состав.*

Благодарности: *Работа выполнялась в рамках государственного Задания FZMM-2023-0003, FZMM-2026-0005.*

Для цитирования: Особенности механоактивированного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в порошковой смеси системы Ti–Al–C / А. А. Ситников [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 230–235. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.036. EDN: https://elibrary.ru/SRYORS.

Original article

FEATURES OF MECHANICALLY ACTIVATED SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS IN A POWDER MIXTURE OF Ti-Al-C SYSTEM

Alexander A. Sitnikov [1], Alexey V. Sobachkin [2], Marina V. Loginova [3], Valery Yu. Filimonov [4], Vladimir I. Yakovlev [5], Andrey Yu. Myasnikov [6], Anastasia A. Popova [7], Yuri N. Kamyshov [8], Alexander V. Sobachkin [9]

© Ситников А. А., Собачкин А. В., Логинова М. В., Филимонов В. Ю., Яковлев В. И., Мясников А. Ю., Попова А. А., Камышов Ю. Н., Собачкин А. В., 2026

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА В ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ СИСТЕМЫ Ti–Al–C

[1, 2, 3, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
[4] Institute for Water and Environment Problems SB RAS, Barnaul, Russia
[6] Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
[8] Barnaul juridical Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Barnaul, Russia
[1] sitalan@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-4023-0869
[2] sobachkinav@altgtu.ru, https://orcid.org/0000-0001-9159-1122
[3] logi_m@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6518-3598
[4] vyfilimonov@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0003-0229-7058
[5] yak1961@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5635-5981
[6] myasnickov.andre@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-3289-9087
[7] PopovaAnA@altgtu.ru, https://orcid.org/0009-0002-2863-9546
[8] kamishovun@mail.ru, https://orcid.org/0009-0003-5364-8548
[9] samap@list.ru, https://orcid.org/0009-0005-4131-4019

Abstract. *In the presented work, the effect of mechanical activation on the structural and phase state of powder reagents of the Ti-Al-C system, and also revealed the features of the implementation of self-propagating high-temperature synthesis in the prepared mixture are studied. The following mixtures were used for the research: 1) 78% Ti + 14% Al + 8% C; 2) 80% Ti + 12% Al + 8% C; 3) 81% Ti + 10% Al + 9% C. The mechanical processing of powder mixtures was carried out in a planetary ball mill AGO-2. The treatment duration was 7 minutes at an energy intensity of 40 g. Mechanical activation of these compounds leads to an increase in the diffuse background, a decrease in the intensity of diffraction reflections of the mixture components and a broadening of peaks, as well as micro-deformations. Depending on the ratio of the components, the structural parameters can either increase or decrease in comparison with the initial ones. After the implementation of high-temperature synthesis in a powder mixture of Ti + Al + C, it was found that the reaction product contains MAX phases Ti_2AlC and Ti_3AlC_2, titanium carbide TiC, as well as unreacted C. The ignition temperature was 1235 ± 15 °C, and the maximum synthesis temperatures reached 1800 ± 15 °C. With a two-minute high-temperature exposure, stabilization of the reaction products is observed, which is expressed in a decrease in the level of diffuse background on diffractograms.*

Keywords: *MAX phases, Ti-Al-C, mechanical activation, self-propagating high-temperature synthesis, structural parameters, phase composition.*

Acknowledgements: *this study was supported by Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation (FZMM-2023-0003, FZMM-2026-0005).*

For citation: Sitnikov, A. A., Sobachkin, A. V., Loginova, M. V., Filimonov, V. Yu., Yakovlev, V. I., Myasnikov, A. Yu., Popova, A. A., Kamyshov, Yu. N. & Sobachkin, A. V. (2026). Features of mechanically activated self-propagating high-temperature synthesis in a powder mixture of the Ti-Al-C system. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 230-235. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.036. EDN: https: //elibrary.ru/SRYORS.

ВВЕДЕНИЕ

Алюмокерамические композиты все больше используются в качестве конструкционных и функциональных материалов, например, в таких отраслях промышленности, как автомобильная, аэрокосмическая и др.

В современном материаловедении большой интерес вызывает новый вид тугоплавких соединений – так называемые MAX-фазы. MAX-фазы стали известны в конце 1990-х годов, представляя собой новый класс тройных карбидов и нитридов, которые устраняют разрыв между свойствами, характерными для металлов и керамики. Они представляют собой тройные соединения, отвечающие формуле $M_{n+1}AX_n$, где M – переходный металл; A – элемент IIIA или IVA группы системы Менделеева; X – углерод и/или азот [1, 2]. Особенности кристаллической решетки MAX-фаз предопределяют уникальную комбинацию свойств этих материалов. Как и керамика, MAX-фазы обладают низкой плотностью, высоким модулем упругости, а некоторые из них обладают отличной стойкостью к окислению и коррозии при высокой температуре. В то же время, как металлы, они имеют высокую электро- и теплопроводность, имеют хорошую устойчивость к тепловым ударам и повреждениям, а также обладают хорошей обрабатываемостью [3–8].

Среди множества MAX-фаз, полученных на текущий момент, наибольший интерес по уровню свойств представляют MAX-фазы на основе титана [9–13]. В частности, Ti_3AlC_2 является единственной керамикой, которая обладает некоторой пластичностью при сжатии при комнатной температуре, поэтому получению MAX-фаз в системе Ti–Al–C стоит уделить особое внимание. Одним из способов получения MAX-фаз является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), позволяющий существенно сократить энергозатраты и упростить получение MAX-материалов [14, 15]. Одним из способов целенаправленного воздействия на порошковую смесь для СВС является механическая активация, позволяющая реализовать идеальный контакт между реагентами и повысить реакционную способность смеси [16–18].

МЕТОДЫ

В качестве объектов исследований использовались порошок титана ПТК-1 дисперсностью 100…200 мкм, порошок алюминия ПА-3 дисперсностью 63…100 мкм и порошок углерода в виде графита. Из указанных порошков приготавливали механическую смесь, варьируя соотношение компонентов (Al, Ti и C) по массовым процентам. Были приготовлены три состава порошковых смесей (мас. %):

1) 78 % Ti + 14 % Al + 8 % C (система с избытком алюминия);

2) 80 % Ti + 12 % Al + 8 % C;

3) 81 % Ti + 10 % Al + 9 % C (система с избытком титана и углерода).

Для механоактивационной обработки использовали планетарную шаровую мельницу АГО-2. Отношение массы исходной порошковой смеси к массе мелющих тел составляло 1 : 20. Для защиты от окисления из цилиндров откачивался воздух, затем они заполнялись аргоном при давлении 0,3 МПа. Длительность механической обработки составляла 7 мин. при энергонапряженности шаровой мельницы 40 g

(g – ускорение свободного падения). После механоактивации порошки извлекали из цилиндров в специальном боксе в аргоновой атмосфере

Рентгеноструктурные исследования проводили на дифрактометре ДРОН-6 с CuK_{α}-излучением (λ = 1,5418 Å). Дифрактограммы образцов регистрировали в идентичных условиях, что позволяло более корректно сравнивать полученные величины. Шаг сканирования 0,05°, время экспозиции 3 с. Обработку экспериментальных данных осуществляли с применением пакета программ PDWin. Уточнение параметров элементарной ячейки проводили по стандартному методу наименьших квадратов с помощью пакета программ PDWin. Расчет средних размеров областей когерентного рассеяния и уровня микродеформаций <ε> производили по полученным дифракционным данным методом вторых моментов в программной оболочке Size & Strain.

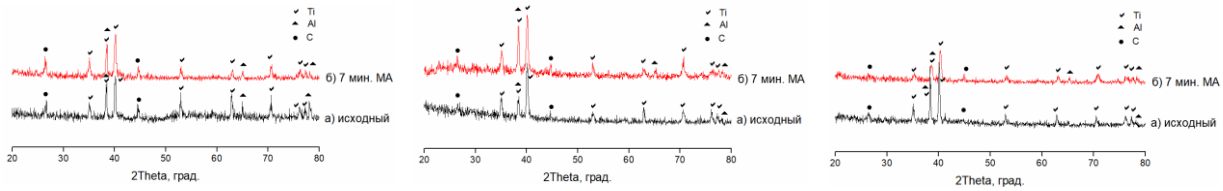
Высокотемпературный синтез реализовывался с помощью экспериментальной установки на базе СВЧ-индуктора 6А. Подготовленная порошковая смесь засыпалась в графитовый тигель, в центре которого размещалась вольфрам-рениевая термопара для контроля и записи температуры процесса СВС. Система находилась под вакуумным колпаком. Для предотвращения взаимодействия с кислородом объем под колпаком непрерывно продувался аргоном. К преимуществам такой методики реализации СВС следует отнести: во-первых, возможность быстрого нагрева смеси до высоких температур, во-вторых, возможность продолжительной выдержки системы при высоких температурах сразу же после реализации синтеза (высокотемпературный отжиг), в-третьих, возможность быстрого охлаждения смеси до комнатных температур. Таким образом, появляется непосредственная возможность непрерывного перехода от процесса быстрого реагирования к процессу высокотемпературного отжига, с последующим быстрым охлаждением, что обеспечивает управляемое термическое воздействие на порошковую смесь.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 приведены дифрактограммы исходных и механоактивированных в течение 7 минут при энергонапряженности шаровой мельницы 40 g порошковых смесей указанных составов.

Из сравнительного анализа дифрактограмм следует, что фазовый состав порошковой смеси после механоактивационной обработки не отличается от исходного. Механоактивация указанных смесей приводит к повышению диффузного фона, уменьшению интенсивностей дифракционных отражений компонентов смеси, уширению пиков, что свидетельствует о наличии неравновесных дефектов в продуктах размола и уменьшении размеров кристаллитов [19].

На основании анализа дифрактограмм были проведены расчеты структурных параметров элементарных ячеек для компонентов смеси (таблица 1). Эталонные значения брались из базы данных порошковой дифрактометрии PDWin 3.0: для титана по карточке (44-1294) ICDD Grant-in-Aid, Sailer, R., McCarthy, G., North Dakota State University, Fargo, North Dakota, USA.,1993; для алюминия – по (4-787) Natl. Bur. Stand.(U.S.),Circ. 539, Swanson, Tatge., I, 11, 1953; для углерода – по (2-456) The Structure of Crystals, 1 st Ed. соответственно.



а) б) в)

Рисунок 1 – Дифрактограммы исходной и механоактивированной порошковых смесей состава:
а) 78% Ti + 14% Al + 8% C; б) 80% Ti + 12% Al + 8% C; в) 81% Ti + 10% Al + 9% C

Figure 1 – Diffractograms of the initial and mechanoactivated powder mixtures of the composition:
a) 78% Ti + 14% Al + 8% C; b) 80% Ti + 12% Al + 8% C; c) 81% Ti + 10% Al + 9% C

Таблица 1 – Структурные параметры компонентов смеси Ti + Al + C

Table 1 – Structural parameters of the components of the Ti + Al + C mixture

Параметры ячейки	Исходный порошок	После механической активации			Эталон
		78% Ti + 14% Al + 8% C	80% Ti + 12% Al + 8% C	81% Ti + 10% Al + 9% C	
		Титан			
a, нм	29,52	29,5	29,56	29,42	29,51
c, нм	46,90	46,91	46,84	46,78	46,82
V, нм^3	35406	35365	34468	35070	35300
		Алюминий			
a, нм	40,52	40,54	40,47	40,43	40,49
V, нм^3	66561	66646	66299	66090	66600
		Углерод			
a, нм	24,56	24,57	24,5	24,41	24,56
c, нм	67,18	67,29	67,55	67,61	66,96
V, нм^3	35119	35178	35024	34894	34980

Расчет прецизионных параметров порошковых образцов рассматриваемой системы показал, что в процессе механической обработки происходит изменение структурных состояний компонентов. Различие в изменениях структурных параметров и полной ширины пика на половине высоты дифракционных максимумов компонентов может определяться различной природой возникновения дефектов. Кроме того, на процесс возникновения дефектов, определенных по изменению уширения дифракционных отражений, оказывает влияние и процентное соотношение компонентов в исходной порошковой смеси.

Анализ изменения прецизионных параметров механоактивированных образцов показал, что в зависимости от процентного соотношения компонентов решетки элементов могут незначительно сжиматься (например, алюминий в составе 78% Ti + 14% Al + 8% C), незначительно увеличиваться (например, титан в этом же составе) и существенно увеличиваться (например, алюминий в составе 81% Ti + 10% Al + 9% C или титан в составе 80% Ti + 12% Al + 8% C). Во всех случаях объем ячейки превышает эталонный (за исключением алюминия в составе 80% Ti + 12% Al + 8% C), что свидетельствует о дефектной структуре элементов.

На рисунке 2 представлена характерная термограмма процесса высокотемпературного синтеза в порошковой смеси системы Ti–Al–C. Температура воспламенения составила 1235 ± 15 ºС, максимальные температуры синтеза достигают 1800 ± 15 ºС.

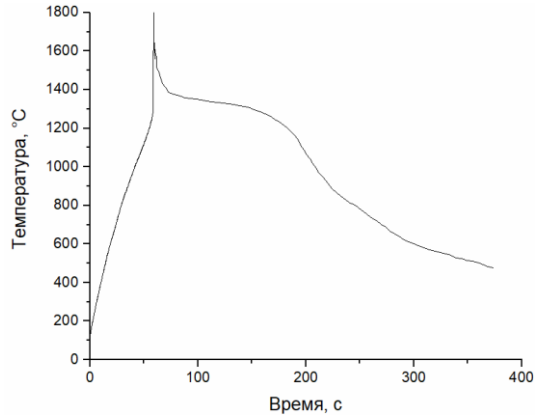


Рисунок 2 – Термограмма процесса СВС в системе Ti-Al-C

Figure 2 – Thermogram of the SHS process in the Ti-Al-C system

На рисунке 3 представлены дифрактограммы продуктов реакции в зависимости от состава порошковой смеси и продолжительности выдержки.

Как следует из анализа дифрактограмм, во всех случаях синтезируются MAX-фазы Ti_2AlC, Ti_3AlC_2, а также карбид титана TiC. Продукты реакции находятся в неравновесном состоянии, с наличием рентгеноаморфного гало на малых углах, которое наиболее сильно проявляется при анализе продуктов реакции из состава 81 % Ti + 10 % Al + 9 % C.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Механоактивация исследованных составов Ti + Al + C приводит к повышению диффузного фона, уменьшению интенсивностей дифракционных отражений компонентов смеси и уширению пиков. В процессе механоактивационного воздействия на порошковые смеси всех составов происходит изменение параметров ячеек компонентов. При этом в зависимости от соотношения компонентов в смеси структурные параметры могут как увеличиваться по сравнению с исходными, так и уменьшаться. Различие в воздействии механоактивации на параметры ячеек может определяться различной природой возникновения дефектов.

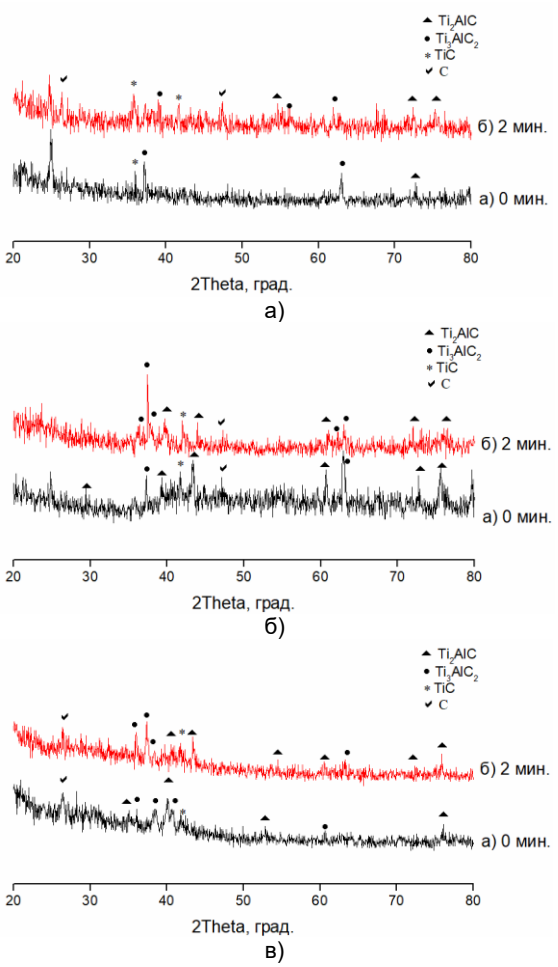


Рисунок 3 – Дифрактограммы СВС продукта из смесей состава: а) 78% Ti + 14% Al + 8% C; б) 80% Ti + 12% Al + 8% C; в) 81% Ti + 10% Al + 9% C

Figure 3 – Diffractograms of the SHS product from mixtures of the composition: a) 78% Ti + 14% Al + 8% C; b) 80% Ti + 12% Al + 8% C; c) 81% Ti + 10% Al + 9% C

На фазовый состав продуктов реакции влияет соотношение компонентов смеси. Во всех случаях синтезируются MAX-фазы Ti_2AlC, Ti_3AlC_2, а также карбид титана TiC. Уширенные пики, высокий уровень диффузного фона и появление рентгеноаморфного гало на малых углах качественно свидетельствуют о формировании неравновесного состояния фаз, входящих в продукты синтеза. При двухминутной высокотемпературной выдержке наблюдается стабилизация системы, выражающаяся в уменьшении уровня диффузного фона. Особенно ярко это проявляется при двухминутной выдержке состава 78 % Ti + 14 % Al + 8% C.

Тем не менее, полностью устранить образование примесной фазы карбида титана в ходе реализации стимулированного СВС на рассмотренных режимах не удалось. Однако реализация СВС в составе 78 % Ti + 14 % Al + 8 % C со временем выдержки в течение двух минут привела к формированию продукта, основу которого составляет целевая MAX-фаза Ti_2AlC.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barsoum M. MAX phases: properties of machinable ternary carbides and nitrides. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2013. 436 p. DOI: 10.1002/9783527654581.

2. Pang W.K., Low I.M. Understanding and improving the thermal stability of layered ternary carbides in ceramic matrix composites, in: Low I.M. (Eds.), Advances in Ceramic Matrix Composites. Woodhead Publishing Limited, Philadelphia, 2014. P. 340–368.

3. Damage accumulation and hysteretic behavior of MAX phase materials / B. Poon [et. al.] // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 2011. Vol. 59, Iss. 10. P 2238–2257. DOI: 10.1016/j.jmps.2011.03.012.

4. Electrical, thermal, and elastic properties of the MAX-phase Ti_2SC / T.H. Scabarozi [et. al.] // Journal of Applied Physics. 2008. Vol. 104, Iss. 3. P. 033502. DOI: 10.1063/1.2959738.

5. Nb_4AlC_3: A new compound belonging to the MAX phases / C. Hu [et. al.] // Scripta Materialia. 2007. Vol. 57, Iss. 10. P. 893–896. DOI: 10.1016/j.scriptamat.2007.07.038.

6. Structure of a new bulk $Ti_5Al_2C_3$ MAX phase produced by the topotactic transformation of Ti_2AlC / N.J. Lane [et. al.] // Journal of the European Ceramic Society. 2012. Vol. 32, Iss. 12. P. 3485–3491. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2012.03.035.

7. Mo_2TiAlC_2: A new ordered layered ternary carbide / B. Anasori [et. al.] // Scripta Materialia. 2015. Vol. 101. P. 5–7. DOI: 10.1016/j.scriptamat.2014.12.024.

8. Synthesis and mechanical properties of TiB_2/Ti_2AlN composites fabricated by hot pressing sintering / S. Lu [et. al.] // Journal of the Ceramic Society of Japan. 2018. Vol. 126, Iss. 11. P. 900–905.

9. Tzenov N.V., Barsoum M.W. Synthesis and Characterization of Ti_3AlC_2 // Journal of the American Ceramic Society. 2000. Vol. 83, Iss. 4. P. 825–832. DOI: 10.1111/j.1151-2916.2000.tb01281.x.

10. Влияние элементного порошкового сырья на формирование пористого каркаса MAX-фазы Ti_3AlC_2 при получении методом СВС / Д.М. Давыдов [и др.] // Вектор науки ТГУ. 2021. № 3. С. 37–47. DOI: 10.18323/2073-5073-2021-3-37-47.

11. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез в системе Ti-Al-C-B / Е.А. Амосов [и др.] // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Технические науки. 2017. № 2. С. 161–171.

12. Влияние газифицирующих добавок на фазовый состав продуктов горения при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе MAX-фаз в системе Ti-C-Al / А.Ф. Федотов [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 6. С. 50–55.

13. Получение алюмокерамических каркасных композитов на основе MAX-фазы Ti_2AlC методом СВС-прессования / А.Ф. Федотов [и др.] // Известия вузов. Цветная металлургия. 2015. № 6. С. 53–62. DOI: 10.17073/0021-3438-2015-6-53-62.

14. Effect of Mechanical Activation on Ti_3AlC_2 Max Phase Formation under Self-Propagating High-Temperature Synthesis // A.Yu. Potanin [et. al.] // Eurasian Chemico-Technological Journal. 2015. Vol. 17, № 3. P. 233–242. DOI: 10.18321/ectj249.

15. Electronic and structural properties of the layered ternary carbide Ti_3AlC_2 / Y.C. Zhou [et. al.] // Journal of Materials Chemistry. 2001. Vol. 11, Iss. 9. P. 2335–2339. DOI: 6 10.1039/B101520F.

16. Dudina D.V., Bokhonov B.B. Materials Development Using High-Energy Ball Milling: A Review Dedicated to the Memory of M.A. Korchagin // Journal of Composites Science. 2022. Vol. 6, Iss. 7. P. 188. DOI: 10.3390/jcs6070188.

17. Собачкин А.В. Стимулированный высокотемпературный синтез в структурно-измененной порошковой смеси на основе системы Ti–Al : дис. … д-ра техн. наук. Барнаул, 2025. 329 с.

18. Yadav T.P., Yadav R.M., Singh D.P. Mechanical milling: A top down approach for the synthesis of nanomaterials and nanocomposites // Nanoscience and Nanotechnology. 2012. Vol 2, Iss. 3. P. 22–48. DOI: 10.5923/j.nn.20120203.01.

19. Sobachkin A.V., Sitnikov A.A., Myasnikov A.Y. Effect of mechanical activation and gamma-irradiation on structural-phase state of Ti-Al-C powder reagents // Defect and Diffusion Forum. 2021. Vol. 410. P 674–679. DOI: 10.4028/www.scientific.net/DDF.410.674.

Информация об авторах

А. А. Ситников – доктор технических наук, директор производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. В. Собачкин – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории самораспространяющегося высокотемпературного синтеза им. В.В. Евстигнеева Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

М. В. Логинова – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории самораспространяющегося высокотемпературного синтеза им. В.В. Евстигнеева Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

В. Ю. Филимонов – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; главный научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики Института водных и экологических проблем СО РАН.

В. И. Яковлев – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории самораспространяющегося высокотемпературного синтеза им. В.В. Евстигнеева Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. Ю. Мясников – научный сотрудник производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; младший научный сотрудник лаборатории радиационной химии высокоэнергетических электронов Института химии твердого тела и механохимии СО РАН.

А. А. Попова – кандидат технических наук, доцент кафедры Малый бизнес в сварочном производстве Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Ю. Н. Камышов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; доцент кафедры Информатики и специальной техники Барнаульского юридического института МВД России.

А. В. Собачкин – аспирант Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Barsoum, M. (2013). MAX phases: properties of machinable ternary carbides and nitrides. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. DOI: 10.1002/9783527654581.

2. Pang, W.K. & Low, I.M. (2014). Understanding and improving the thermal stability of layered ternary carbides in ceramic matrix composites, in: I.M. Low (Eds.), Advances in Ceramic Matrix Composites, Woodhead Publishing Limited, Philadelphia, pp. 340-368.

3. Poon, B., Ponson, L., Zhao, J. & Ravichandran, G. (2011). Damage accumulation and hysteretic behavior of MAX phase materials. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, (59), 2238-2257. DOI: 10.1016/j.jmps.2011.03.012.

4. Scabarozi, T.H., Amini, S., Finkel, P., Leaffer, O.D., Spanier, J.E., Barsoum, M.W., Drulis, M., Drulis, H., Tambussi, W.M., Hettinger, J.D. & Lofland, S.E. (2008). Electrical, thermal, and elastic properties of the MAX-phase Ti_2SC. *Journal of Applied Physics*, (104), 033502. DOI: 10.1063/1.2959738.

5. Hu, C., Li, F., Zhang, J., Wang, J., Wang, J. & Zhou, Y. (2007). Nb_4AlC_3: A new compound belonging to the MAX phases. *Scripta Materialia,* (57), 893-896. DOI: 10.1016/ j.scriptamat.2007.07.038.

6. Lane, N.J., Naguib, M., Lu, J., Hultman, L. & Barsoum, M.W. (2012). Structure of a new bulk $Ti_5Al_2C_3$ MAX phase produced by the topotactic transformation of Ti_2AlC. *Journal of the European Ceramic Society*, (32), 3485-3491. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2012.03.035.

7. Anasori, B., Halim, J., Lu, J., Voigt, C.A., Hultman, L. & Barsoum, M.W. (2015). Mo_2TiAlC_2: A new ordered layered ternary carbide. *Scripta Materialia*, (101), 5-7. DOI: 10.1016/ j.scriptamat.2014.12.024.

8. Lu, S., Li, X. Q., Zhou, Y.F., Xu, W.T. & Pan, J.W. (2018). Synthesis and mechanical properties of TiB_2/Ti_2AlN composites fabricated by hot pressing sintering. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, (126), 900-905.

9. Tzenov, N.V. & Barsoum, M.W. (2000). Synthesis and Characterization of Ti_3AlC_2. *Journal of the American Ceramic Society*, (83), 825-832. DOI: 10.1111/j.1151-2916.2000. tb01281.x.

10. Davydov, D.M., Umerov, E.R., Latukhin, E.I. & Amosov, A.P. (2021). The influence of elemental powder raw material on the formation of the porous skeleton of TI_3ALC_2 MAX-phase when obtaining by the SHS method. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, (3), 37-47. (In Russ.). DOI: 10.18323/2073-5073-2021-3-37-47.

11. Amosov, E.A., Kovalev, D.Yu., Latukhin, E.I., Konovalikhin, S.V. & Sytschev, A.E. (2017). Self-propagating high-temperature synthesis in the TI-AL-C-B system. *Bulletin of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*, (2), 161-171. (In Russ.).

12. Fedotov, A.F., Amosov, A.P., Latukhin, E. I., Ermoshkin, A.A. & Davydov, D.M. (2014). The influence of gasifying additives on phase composition of combustion products at self-propagating high-temperature synthesis of maxphases in Ti-C-Al system. *Bulletin of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, (16), 50-55. (In Russ.).

13. Fedotov, A.F., Amosov, A.P., Latukhin, E. I. & Novikov, V.A. Fabrication of aluminum-ceramic skeleton composites based on the Ti_2AlC MAX phase by SHS compaction (2015). *Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*, (6), 53-62. (In Russ.). DOI: 10.17073/0021-3438-2015-6-53-62.

14. Potanin, A.Yu., Loginov, P.A., Levashov, E.A., Pogozhev, Yu.S., Patsera, E.I. & Kochetov, N.A. (2015). Effect of Mechanical Activation on Ti_3AlC_2 Max Phase Formation under Self-Propagating High-Temperature Synthesis. *Eurasian Chemico-Technological Journal*, (17), 233-242. DOI: 10.18321/ ectj249.

15. Zhou, Y.C., Wang, X.H., Sun, Z.M. & Chen, S.Q. (2001). Electronic and structural properties of the layered ternary carbide Ti_3AlC_2. *Journal of Materials Chemistry*, (11), 2335-2339. DOI: 10.1039/B101520F.

16. Dudina, D.V. & Bokhonov, B.B. (2022). Materials Development Using High-Energy Ball Milling: A Review Dedicated to the Memory of M.A. Korchagin. *Journal of Composites Science*, (6), 188. DOI: 10.3390/jcs6070188.

17. Sobachkin, A.V. (2025). Stimulated high-temperature synthesis in a structurally modified powder mixture based on the Ti-Al system. Doctor's dissertation. Barnaul. (In Russ.).

18. Yadav, T.P., Yadav, R.M. & Singh, D.P. (2012). Mechanical milling: A top down approach for the synthesis of nanomaterials and nanocomposites. *Nanoscience and Nanotechnology*, (2), 22-48. DOI: 10.5923/j.nn.20120203.01.

19. Sobachkin, A.V., Sitnikov, A.A. & Myasnikov, A.Y. (2021). Effect of mechanical activation and gamma-irradiation on structural-phase state of Ti-Al-C powder reagents. *Defect and Diffusion Forum*, (410), 674-679. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ DDF.410.674.

Information about the authors

A.A. Sitnikov - Doctor of Technical Sciences, Director of the Industrial Innovation complex of Applied Research and Development of the Polzunov Altai State Technical University.

A.V. Sobachkin - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the V.V. Evstigneev Problematic Scientific Research Laboratory of Self-Propagating High-temperature Synthesis of the Polzunov Altai State Technical University.

M.V. Loginova - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the V.V. Evstigneev Problematic Scientific Research Laboratory of Self-Propagating High-temperature Synthesis of the Polzunov Altai State Technical University.

V.Yu. Filimonov - Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Leading Researcher at the Industrial Innovation complex of Applied Research and Development of the Polzunov Altai State Technical University; Chief Researcher at the Laboratory of Hydrology and Geoinformatics of the Institute for Water and Environment Problems SB RAS.

V.I. Yakovlev - Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher at the V.V. Evstigneev Problematic Scientific Research Laboratory of Self-Propagating High-temperature Synthesis of the Polzunov Altai State Technical University.

A.Yu. Myasnikov - Researcher at the Industrial Innovation complex of Applied Research and Development of the Polzunov Altai State Technical University; Junior Researcher at the Laboratory of Radiation Chemistry of High-energy Electrons at the Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS.

A.A. Popova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Small Business in the Assembly Industry of the Polzunov Altai State Technical University.

Yu.N. Kamyshov - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Industrial Innovation complex of Applied Research and Development of the Polzunov Altai State Technical University; Associate Professor of the Computer Science and Special Technology Barnaul juridical Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation.

A.V. Sobachkin - postgraduate student at the 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 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 236–239.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 236–239.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки).
2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678.027.776 (043.2)
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.037 EDN:UHFHDO

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКИ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Егор Германович Сакошев [1], Алексей Николаевич Блазнов [2], Николай Валерьевич Бычин [3],

[1, 2, 3] Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), Бийск, Россия
[1] 89139984903@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-2454-2573,
[2] blaznov74@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9123-159X,
[3] labmineral@mail.ru,https://orcid.org/0000-0002-7251-7741

Аннотация. *Проведены исследования механизмов разрушения после испытания на механическое сжатие контрольных и предварительно термохимически состаренных базальтопластиков кольцевой формы, изготовленных на основе армирующего наполнителя (ровинга) НРБ 19-1200-КВ-42 и двух различных связующих: первый с отвердителем аминного типа ЭД-20+Этал-23Х, а второй с ангидридным – связующее ЭДИ. С использованием оптического электронного микроскопа изучена поверхность образцов в области их разрушения и выявлены основные механизмы снижения прочностных характеристик ПКМ, которые заключаются в расслаивании волокон от полимерной матрицы, её растрескивании, распространении трещин в структуре композиционного материала и т.п.*

Ключевые слова: *химическая стойкость, старение, полимерные композиты, аминные отвердители, коэффициент химической стойкости, ангидридные отвердители, макроразрушение.*

Финансирование: *Исследования ИПХЭТ СО РАН выполнены в рамках госзадания Министерства образования и науки РФ (код научной темы FUFE-2024-0008, № госрегистрации темы 124021200031-4) при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).*

Для цитирования: Сакошев Е. Г., Блазнов А. Н., Бычин Н. В. Исследование механизмов разрушения композитных изделий после воздействия химически агрессивных сред // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 236–239. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.037. EDN: https://elibrary.ru/UHFHDO.

Original article

INVESTIGATION OF MECHANISMS OF DESTRUCTION OF COMPOSITE MATERIALS AFTER EXPOSURE TO CHEMICALLYAGGRESSIVE MEDIA

Egor G. Sakoshev [1], Aleksey N. Blaznov [2], Nikolay V. Bychin [3]

[1, 2, 3] Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk, Russia
[1] 89139984903@mail.ru, https://orcid.org/0009-0004-2454-2573,
[2] blaznov74@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9123-159X,
[3] labmineral@mail.ruhttps://orcid.org/0000-0002-7251-7741

Abstract. *Studies of the mechanisms of destruction after mechanical compression testing of control and prethermochemically aged ring-shaped basalt plastics made on the basis of reinforcing filler (roving) have been carried out NRB 19-1200-KV-42 and two different binders: the first with an amine type hardener ED-20+Ethal-23X, and the second with an anhydride binder EDI. Using an optical electron microscope, the surface of the samples in the area of their destruction was studied and the main mechanisms for reducing the strength characteristics of FRP were identified, which consist in delamination of fibers from the polymer matrix, its cracking, propagation of cracks in the structure of the composite material, etc.*

Keywords: *chemical resistance, aging, polymer composites, amine hardeners, chemical resistance coefficients, anhydride hardeners, macro degradation.*

Acknowledgements: *Research at the IPCET SB RAS was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (scientific topic code FUFE-2024-0008, state registration number of the topic 124021200031-4) using the equipment of the Biysk Regional Center for Shared Use of Scientific Equipment of the SB RAS (IPCET SB RAS, Biysk).*

© Сакошев Е. Г., Блазнов А. Н., Бычин Н. В., 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКИ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

For citation: Sakoshev, E.G., Blaznov, A.N. & Bychin, N.V. (2026). Investigation of mechanisms of destruction of composite materials after exposure to chemically aggressive media. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 236-239. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.037. EDN: https: //elibrary.ru/UHFHDO.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование влияния воздействия агрессивных химических сред на прочностные характеристики полимерных композиционных материалов (ПКМ) на сегодняшний день является актуальной задачей, так как композиты находят применение практически во всех отраслях промышленности. В таких областях, как электротехническая, нефтегазовая, химическая и горнодобывающая промышленность, изделия из композитов подвергаются влиянию агрессивной окружающей среды в течение длительного срока эксплуатации [1, 2]. Для оценки воздействия химически агрессивных сред на ПКМ необходимо провести идентификацию повреждений на поверхности образцов и определить морфологии макро- и микроповреждений в зонах разрушения, как это сделали авторы работ [3, 4].

Исследование химической стойкости полимерных материалов регламентируется стандартом ГОСТ 12020-2018 [5]. Сущность метода заключается в погружении образцов в испытательную жидкость на заданное время при определенной температуре. Свойства образцов определяют до погружения и после извлечения из испытательной жидкости, а также после сушки, если ее проводят. Определение свойств после сушки проводят последовательно на тех же образцах.

ГОСТ 12020-2018 регламентирует определение изменение массы, размеров и внешнего вида образцов после извлечения из среды воздействия и последующей сушки. Также исследуется изменение механических, термических и других характеристик. Количественно оценивается водопоглощение и абсорбция испытательных сред полимерным материалом.

В работе [6] авторы исследовали влияние кислой среды на поглотительные, морфологические, механические, структурные и термические свойства гибридных ПКМ. Был сделан вывод о том, что действие кислых сред однозначно сказывается на морфологии образцов и физико-механических характеристиках.

В выполненных нами ранее работах [7] по проведению ускоренного термохимического старения композитов, изготовленных в виде колец, с последующими испытаниями на сжатие были в итоге определены количественные характеристики, такие как коэффициенты химической стойкости, водопоглощение и абсорбция среды.

Цель данного исследования заключалась в определении механизмов разрушения образцов ПКМ и установлении закономерностей между изменением свойств в результате химического старения и структуры композитов.

Для достижения этой цели решались задачи, заключающиеся в определении морфологии области повреждения, и сравнение результатов с прочностными характеристиками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами для настоящего исследования являлись композитные кольца шириной около 10 мм, изготовленные путём нарезания изделий в виде труб в промышленных условиях АО «НПП «Алтик».

Материалами, из которых изготовлены композитные кольца, являлись эпоксидные связующие двух типов на основе аминного и ангидридного отвердителя. В качестве эпоксидной смолы использовалась ЭД-20. В качестве аминного отвердителя использовался Этал-23Х. В качестве эпоксиангидридного связующего использовали ЭДИ с отвердителем ИМТГФА и ускорителем полимеризации УП-606/2. В качестве армирующих наполнителей использовали базальтовый ровинг НРБ 19-1200-КВ-42.

С целью определения механических характеристик образцов проводили испытания на сжатие колец (рисунок 1), не подвергнутых старению (исходных), состаренных в 10%-ном растворе NaOH и в 10%-ном растворе H_2SO_4 при температуре 70 ºС в течение 42 часов.

По значению разрушающей силы определяли напряжение в образцах по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{2S},$$

где S – площадь поперечного сечения кольца, мм^2 (S=a·b), где a, b – толщина и ширина кольца, мм.

where S – the cross–sectional area of the ring, mm^2 (S=a·b), where a, b are the thickness and width of the ring, mm.

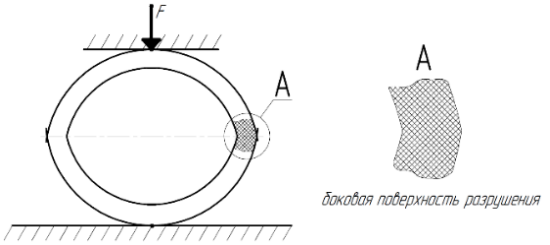


Рисунок 1 – Схема механических испытаний на сжатие образцов, где F – усилие сжатия, A – исследуемая поверхность разрушения

Figure 1 – Scheme of mechanical compression testing of samples, where F - the compressive force and A - the fracture surface under study.

Для определения морфологии области разрушения образцов использовали оптический электронный микроскоп.

Изучаемая поверхность разрушения представлена на схеме механических испытаний образцов на сжатие рисунке 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Коэффициент химической стойкости (в %) определили как отношение разрушающего напряжения после химического старения к исходному значению.

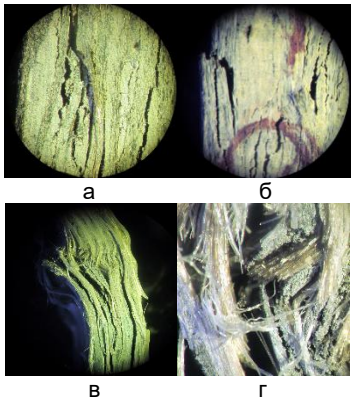
Результаты определения химической стойкости для всех образцов по данным работы [7] приведены в таблице 1.

Для исследования структуры в настоящей работе выбраны образцы № 1, 2, изготовленные на одинаковом ровинге, но с разными отвердителями связующих, показавшие наихудший и наилучший результат в разных средах.

При исследовании боковой поверхности в области разрушения образцов композитных колец № 1 после механических испытаний на сжатие обнаружены видимые характеристики поверхности разрушения (трещины, изломы, пустоты и др.) образцов, которые представлены на рисунке 2.

Таблица 1 – Химическая стойкость образцов по средам / Table 1 – Chemical resistance of samples by media

№	Ровинг	Связующее	Коэффициент химической стойкости, %	
			NaOH	H_2SO_4
1	НРБ 19-1200-КВ-42	ЭД-20+Этал-23Х	71,16	19,56
2		ЭДИ	13,29	73,80
3	UMAFIBECR 120-17-1200	ЭД-20+Этал-23Х	85,86	36,57
4		Epilox	92,82	76,03
5		ЭДИ	62,21	104,28
6		ЭДИ+Этал 1	75,70	111,53
7	GLASS-TEX ECR 22-1200-602A	ЭД-20+Этал-23Х	81,42	21,23
8		Epilox	74,97	68,09
9		ЭДИ	62,81	87,90



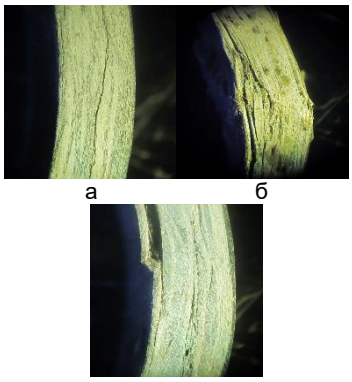
а б в г

Рисунок 2 – Фотографии области разрушения образцов № 1: неподверженных старению (а); состаренных в 10%-ном растворе NaOH (б); в 10%-ном растворе H_2SO_4 (в, г)

Figure 2 – Photographs of the destruction area of samples № 1: non-aging (а); aged in 10% NaOH solution (б); in 10% H_2SO_4 solution (в, г).

В области разрушения на боковой поверхности несостаренных композитных образцов (рисунок 2, *а*) наблюдаются разрастающиеся макротрещины, которые возникли из-за сжимающего напряжения, приложенного к композитному кольцу, что привело к растрескиванию полимерной матрицы и излому волокон. Разрушение образцов, подвергнутых старению в 10%-ном растворе NaOH (рисунок 2, *б*), характеризуется образованием расширяющихся трещин в структуре полимерного материала. При этом видимой картиной деградации армирующих волокон с внутренней стороны кольца является их разрушение, а с внешней – излом. Наиболее выраженную картину разрушения при сжатии показали кольца, состаренные в 10%-ном растворе серной кислоты (рисунок 2, *в*, *г*). Отмечается наличие пустот и большого количества глубоких и искривленных трещин, наблюдаемых в структуре ПКМ, что свидетельствует о тотальном разрушении композиционного материала. При этом волокна армирующего ровинга отслаиваются и от матрицы, и друг от друга, приобретая хаотично разбросанную пространственную конфигурацию. Скорее всего, данный эффект вызван явлением пластификации связующего, которое упоминается в работе [6] при старении гибридных композиционных материалов в кислых средах.

Поверхности макроразрушений образцов колец № 2, исходных и прошедших старение в уже упомянутых выше условиях, представлены на рисунке 3.



а б в

Рисунок 3 – Фотографии разрушения образцов композитных колец № 2 после механических испытаний на сжатие: неподверженных старению (а); состаренных в 10%-ном растворе NaOH (б); в 10%-ном растворе H_2SO_4 (в)

Figure 3 – Photographs of the destruction of composite ring samples № 2 after mechanical compression tests: non-aging (а); aged in 10% NaOH solution (б); in 10% H_2SO_4 solution (в)

На рассматриваемых боковых поверхностях несостаренных образцов в области разрушения (рисунок 3, *а*) обнаруживаются в малом количестве узкие продолговатые трещины, распространяющиеся преимущественно по окружности – вдоль направления волокон. В результате старения композитных колец в растворе гидроксида натрия их боковая поверхность высоконагружаемой зоны при сжатии (рисунок 3, *б*) характеризуется появлением большого количества дефектов. Обнаруживаются явления расслаивания ровинга и полимерной матрицы с отчетливым расширением трещин и пустот, а также области разрушения и разрывов волокон. Это также может быть объяснено явлением гидролиза или пластификации полимерного связующего при воздействии на ПКМ щелочных сред, что хорошо описано в работе [8]. Негативное воздействие раствора серной кислоты и сжимающего напряжения привело к образованию разветвленных макротрещин в структуре композиционного кольца (рисунок 3, *в*). Излом волокон армирующего материала является преимущественным характером разрушения ПКМ.

ОБСУЖДЕНИЕ

Можно отметить, что несостаренные образцы обоих типов колец № 1 (рисунок 2, *а*) и № 2 (рисунок 3, *а*) после механических испытаний на сжатие имеют схожий характер разрушения, характеризующийся минимальным количеством макротрещин и

отсутствием выраженных пустот. Однако при их сравнении можно отметить, что образец № 1 имеет более выраженную картину поражения, подтверждающуюся изломом волокон и большей шириной трещин. На это также указывает, что прочностные характеристики, полученные в результате механического сжатия у образца № 2, больше, чем у образца № 1.

К действию щелочной среды (NaOH) более устойчив образец № 1 (рисунок 2, *б*) в отличие от образца № 2 (рисунок 3, *б*). Область разрушения у последнего характеризуется появлением большего количества дефектов, таких как расслоение, макротрещины, пустоты и разрывы волокон армирующего материала (ровинга). Эти замечания также согласуются с данными таблицы 1, где коэффициент химической стойкости у образца № 1 составляет 71,16 %, а у № 2 – 13,29 %. Это можно объяснить тем, что в щелочной среде большей химической стойкостью обладают композиционные материалы, имеющие в своём составе аминный отвердитель, о чем упоминается в исследовании [9].

Напротив, можно подчеркнуть, что к действию H_2SO_4 стойким оказался второй тип образцов – № 2. Это подтверждается тем, что образцы № 1 имеют практически полностью разрушенную структуру (рисунок 2, *в*, *г*) после воздействия данной испытательной среды, в то время, как у образцов № 2 замечается небольшое количество структурных дефектов (рисунок 3, *в*). Согласно данным таблицы 1, образцы № 2 имеют больший коэффициент химстойкости (73,80 %) по сравнению с образцами № 1 (19,56 %). Таким образом, также подтверждается, что ПКМ на основе ангидридных отвердителей проявляют стойкость к действию кислот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью оптической микроскопии были выявлены механизмы разрушения исходных, предварительно ускоренно состаренных в щелочи и кислоте образцов базальтовых композитных колец на основе аминных и ангидридных отвердителей. Данные оптической микроскопии совпадают и дополняют сведения по прочностным характеристикам ПКМ. Природа отвердителя определяет стойкость полимерной матрице к той или иной среде воздействия.

Дальнейшие исследования химической стойкости и режимов разрушения ПКМ представляют большой интерес и практическую значимость в проблеме использования композиционных изделий и конструкций в среде воздействия химически агрессивных сред.

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают эффективность применения аминных отвердителей при производстве ПКМ для щелочных сред, а ангидридных – для кислых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русских Г.И. Полимерные композиты. Технология достижения качества : монография / Г.И. Русских, В.В. Самойленко ; под ред. Г.И. Русских. Бийск : РОАК ОООП «Общероссийское литературное сообщество», 2022. 294 с.

2. Yue Yuan, Wang Wen-wei, Zhang Lei, Liang Liang, Zhao Qiang. (2024). Effect of sand coating on durability and micro-structural deterioration of GFRP rebar under alkaline environment attack. Construction and Building Materials, 413. 134900. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.134900.

3. Tu J., Xie H. & Gao K. (2020). Prediction of the Long-Term Performance and Durability of GFRP Bars under the Combined Effect of a Sustained Load and Severe Environments. Materials, 13(10), 2341. https://doi.org/10.3390/ma13102341.

4. Guo F., Al-Saadi S., Singh Raman R.K. & Zhao X.L. (2018). Durability of fiber reinforced polymer (FRP) in simulated seawater sea sand concrete (SWSSC) environment. Corrosion Science, 141, 1–13. doi: 10.1016/j.corsci.2018.06.

5. ГОСТ 12020−2018 (ISO 175:2010) Пластмассы. Методы определения стойкости к действию химических сред. М. : Стандартинформ, 2018. 21 с.

6. Akderya T., Horzum N. & Baba B.O. Effect of acidic environment on absorptive, morphological, mechanical, structural, and thermal properties of glass-carbon/epoxy-based hybrid composites. J Polym Res 31, 27 (2024). https://doi.org/10.1007/s10965-023-03860-x.

7. Сакошев Е.Г., Калистру В.А., Блазнов А.Н., Савин И.И., Сакошев З.Г., Медведев П.А. Исследование химической стойкости стекло- и базальтопластиков на различных связующих // Фундаментальное и прикладное материаловедение : труды XXII Международной научной школы-конференции, 29–31 октября 2025 года / под ред. В.Б. Маркина ; Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2025. С. 75–81. ; ил. URL: https://journal.altstu.ru/konf_2025/2025_1/149/.

8. Wen S., Cao M. Review on degradation behavior of fiber-reinforced polymer bars in marine environments. J Mater Sci 58, 9861–9893. (2023). https://doi.org/10.1007/s10853-023-08667-1.

9. Kocaman S., Ahmetli G. (2016). A study of coating properties of biobased modified epoxy resin with different hardeners . Progressin Organic Coatings, 97, 53–64. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2016.03.025.

Информация об авторах

Е. Г. Сакошев – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории Материаловедения минерального сырья ИПХЭТ СО РАН.

А. Н. Блазнов – доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией Материаловедения минерального сырья ИПХЭТ СО РАН.

Н. В. Бычин – старший научный сотрудник лаборатории Материаловедения минерального сырья ИПХЭТ СО РАН.

Information about the authors

E.G. Sakoshev - Ph.D. student, Junior Research Scientist at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS.

A.N. Blaznov - Doctor of Technical Sciences, Chief of the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS.

N.V. Bychin - Senior Research Scientist at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 240–243.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 240–243.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки).
УДК 678.024.1
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.038 EDN: WSJTRC

ПОВЕДЕНИЕ ЧАСТИЦ ДИОКСИДА СВИНЦА ВО ФТОРОПЛАСТОВОЙ МАТРИЦЕ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

Виталий Евдокимович Рогов [1] Любовь Александровна Бохоева [2], Оксана Жимбиевна Аюрова [3], Анна Сергеевна Чермошенцева [4]

[1] ФГБУН «Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», г. Улан-Удэ, Россия,
[3] ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова», г. Улан-Удэ, Россия
[1] Холдинговая группа «Wanfeng Auto Holding Group», Синьчан, Китай
[2] ООО «Zhejiang Taitan Co.», Синьчан, Китай
[4] Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
[1] rogov54v@mail.ru, https://orcid.org/
[2] bohoeva@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-6986-4307
[3] chem88@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4772-9133
[4] asch-13@ya.ru

Аннотация. *Представлен анализ работ о фторопластовых заготовках, наполненных дисперсными порошками диоксида свинца PbO_2 более 40 мас% в процессе нагрева и термообработки в воздушной среде. В результате нагрева и выдержки при температуре спекания во фторопластовых заготовках осуществляется процесс термического разложения частиц диоксида свинца ($PbO_2 \rightarrow PbO$), в результате чего возникает повышенное давление газов внутри образца, которое сбрасывается за счет образования трещин. В теле композита при наполнении дисперсными порошками диоксида свинца наблюдаются нарушения сплошности, при этом термохимические реакции отсутствуют. Дефекты в виде трещин образуются в середине образцов, параллельно плоскости прессования. Известно, что при термообработке фторопластовых заготовок монолитизация частиц фторопласта начинается с наружных слоев, что препятствует выходу абсорбированных газов и воздуха в порах, расположенных внутри прессовок. Для получения без пористых фторопластовых образцов процесс спекания продолжается длительное время. Хотя имеется мнение, что дефекты в виде пористости в изделиях остаются. Дополнительный объем газов, полученный при термическом разложении частиц PbO_2, внутри образца может разрушить его. Данное предположение требует дальнейших уточнений и более детальных исследований. Однако недостаточно работ, где рассмотрены механизмы реакций, протекающие во фторопластовых композициях с дисперсными порошками диоксида свинца.*

Ключевые слова: *диоксид свинца, политетрафторэтилен, ПТФЭ, композит, термообработка, образцы, трещины, пористость.*

Для цитирования: Рогов В. Е., Бохоева Л. А., Аюрова О. Ж., Чермошенцева А. С. Поведение частиц диоксида свинца во фторопластовой матрице при термообработке // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 240–243. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.038. EDN: https://elibrary.ru/WSJTRC.

Original article

BEHAVIOR OF LEAD DIOXIDE PARTICLES IN A FLUOROPLASTIC MATRIX DURING HEAT TREATMENT

Vitaly E. Rogov [1], Lyubov A. Bokhoeva [2], Oksana Z. Ayurova [3], Anna C. Chermoshentseva [4]

[1] Baikal Institute of Environmental Management of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia
[2] East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia
[3] Buryat State University named after D. Banzarov, Ulan-Ude, Russia
[1] Wanfeng Auto Holding Group, Xinchang, China
[2] OOO "Zhejiang Taitan Co.", Xinchang, China
[4] Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
[1] rogov54v@mail.ru, https://orcid.org/
[2] bohoeva@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-6986-4307
[3] chem88@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-4772-9133
[4] asch-13@ya.ru

© Рогов В. Е., Бохоева Л. А., Аюрова О. Ж., Чермошенцева А. С., 2026

ПОВЕДЕНИЕ ЧАСТИЦ ДИОКСИДА СВИНЦА ВО ФТОРОПЛАСТОВОЙ МАТРИЦЕ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

Abstract. *An analysis of works on fluoroplastic blanks filled with dispersed powders of lead dioxide PbO_2 of more than 40% by weight during heating and heat treatment in an air environment is presented. As a result of heating and exposure at sintering temperature in fluoroplastic blanks, the process of thermal decomposition of lead dioxide particles (PbO2 → PbO) is carried out, resulting in increased gas pressure inside the sample, which is relieved by the formation of cracks. In the body of the composite, when filled with dispersed powders of lead dioxide, continuity violations are observed, while there are no thermochemical reactions. Defects in the form of cracks are formed in the middle of the samples, parallel to the pressing plane. It is known that during heat treatment of fluoroplast blanks, the monolithization of fluoroplast particles begins from the outer layers, which prevents the release of absorbed gases located on the surface of compressed polytetrafluoroethylene (PTFE) particles and air in the pores located inside the presses. The sintering process continues for a long time to obtain high-quality samples. Although there is an opinion that defects in the form of porosity in the products remain. However, there are not enough studies that consider the mechanisms of reactions occurring in fluoroplastic compositions with dispersed powders of lead dioxide PbO2 over 40% by weight.*

Keywords: lead dioxide, polytetrafluoroethylene, PTFE, composite, heat treatment, samples, cracks, porosity.

For citation: Rogov, V. E., Bokhoeva, L. A., Ayurova, O. Z. & Chermoshentseva, A. C. (2026). Behavior of lead dioxide particles in a fluoroplastic matrix during heat treatment. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 240-243. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.038. EDN: https: //elibrary.ru/WSJTRC.

ВВЕДЕНИЕ

Первые сообщения о взаимодействии фторопласта-4 при температуре (370–380 ºС), приводящие к различным дефектам вплоть до полного разрушения образцов, опубликованы в работах [1–3]. Рассмотрен фторопласта-4 (политетрафторэтилен, ПТФЭ), наполненный порошками свинца или его оксидами (PbO, PbO_2). В работах [4–8] были проведены исследования с данными наполнителями с целью получения триботехнических материалов с повышенными эксплуатационными свойствами. Получены качественные фторопластовые заготовки – изделий из композиций со свинцовыми наполнителями (спекание в различных газовых атмосферах, пониженных температурах, в широком варианте наполнения). Однако в этих работах не были рассмотрены механизмы реакций, протекающие во фторопластовых композициях с дисперсными свинцовыми порошками.

В данной работе рассмотрены механизмы протекающих реакций во фторопластовых заготовках, которые содержат наполнители в виде свинца. Известно, что наиболее реакционным свинцовым наполнителем в контакте с ПТФЭ при спекании является оксид свинца [1, 2, 5]. Рентгенофазовый анализ фторопластовых образцов с оксидом свинца, наполненных до 20 мас%, показал, что в процессе нагрева и термообработки в воздушной атмосфере наблюдается термохимическое взаимодействие полимера с неорганическим наполнителем с образованием новых соединений Pb_2F_2O и PbF_2 [9]. При повышении концентрации выше 20 мас% наполнителя создаются условия для восстановления PbO до металла (Pb) в центральной части образца. Выдвинуто предположение, что частицы PbO в процессе теплового воздействия в контакте с полимером выступают в качестве инициатора деструкции ПТФЭ по механизму разрыва связи C–F с последующим самовозгоранием частиц свинца, в результате образуется новое соединение PbF_2. Установлено, что при термообработке в воздушной атмосфере образцов с содержанием более 20 мас% PbO наблюдается разрушение прессовок. Степень разрушения композиционного материала возрастает с повышением содержания наполнителя.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ термохимических процессов, наблюдаемых во фторопластовой матрице со свинцовыми порошками при термообработке, показал зависимость реакционной способности зерен свинца от способов их получения. Порошки, полученные распылением расплавленного свинца под высоким давлением, не являются пирофорными [7]. Порошки, полученные в восстановительной атмосфере из оксида свинца, находясь в тесном контакте с полимером в процессе нагрева и выдержки при температуре 375±5 ºС, подвержены самовозгоранию. В работе [10] рассмотрены образцы с Pb, восстановленные из PbO в атмосфере диссоциированного аммиака. Рентгенофазовый анализ этих образцов показал, что в процессе нагрева и термообработки в воздушной атмосфере наблюдается термохимическое взаимодействие фторопласта с неорганическим наполнителем и образованием PbF_2. Выдвинуто предположение, что поверхность пирофорных частиц свинца, находясь на воздухе, окисляются до PbO. В контакте с полимером в процессе теплового воздействия они выступают в качестве инициатора деструкции политетрафторэтилена по механизму разрыва связи C–F с последующим самовозгоранием, в результате чего образуется новое соединение PbF_2.

При использовании диоксида свинца во фторопластовых композиционных заготовках и изделиях имеются противоречия: авторы одних работ утверждают, что эти наполнители значительно повышают износостойкость, другие – нет. Например, авторы работы [11] считают, что порошки PbO_2 являются наиболее перспективными наполнителями для фторопластовых композиционных материалов, значительно повышающие износостойкость такого композита по сравнению с другими наполнителями. В процессе трения фторопластовых образцов, наполненных PbO_2, по стальному контртелу образуется пленка, содержащая фазу фторида свинца [12]. Плоскости скольжения во флюоритовой структуре PbF_2 являются основными факторами снижение износа. Но при этом, получение качественных фторопластовых заготовок с PbO_2 выше 40 мас% и массой более 0,05 кг невозможно. В процессе термообработки в воздушной атмосфере в образцах образуются дефекты в виде трещин, расположенные в середине образцов, параллельно плоскости прессования [5]. В работах [4, 7] установлено, что получить качественные заготовки без образования трещин возможно при снижении температуры спекания до 360 ºС или введение технологических добавок в виде высокодисперсных порошков в концентрации 2–5 мас% (пятиоксида сурьмы, дисульфида молибдена или кобальта синего). Авторы работы [4] утверждают, что образцы PbO_2 (более 20 мас%) после термообработки в восстановительной атмосфере разрушаются. Образец после термообработки в восстановительной атмосфере представляет собой пористую массу бесформенной формы. Термохимическую реакцию между полимерной матрицей и PbO_2 при

термообработке образцов в восстановительной атмосфере можно объяснить быстрым переходом $PbO_2 \rightarrow PbO$. В дальнейшем оксид свинца выступает в качестве инициатора деструкции полимера по механизму разрыва связи C–F с образованием новых соединений.

Процесс превращения $PbO_2 \rightarrow PbO$ при нагреве на воздухе достаточно хорошо представлен в научной литературе в работах [13–15]. Известно [13], что термическое разложение PbO_2 происходит в три стадии. Продуктами разложения являются оксиды следующего состава (в скобках указаны численные значения температур разложения):

$$PbO_2(290\text{-}320^0C) \rightarrow Pb_2O_3(390\text{-}420^0C) \rightarrow Pb_3O_4(530\text{-}550^0C) \rightarrow PbO.$$

Авторы работ [14, 15] утверждают, что PbO_2 разлагается в четыре стадии и претерпевает следующие превращения:

$$PbO_2(290^0C) \rightarrow Pb_{12}O_{19}(350^0C) \rightarrow Pb_{12}O_{17}(380^0C) \rightarrow Pb_3O_4(570^0C) \rightarrow PbO.$$

В работе [16] показано, что первые три стадии разложение PbO_2 происходят при тех же температурах (до 360 ºС), что в работах [14, 15], и продукты разложения идентичны. На стадии превращения ($Pb_3O_4 \rightarrow PbO$) температура разложения возрастает до 600 ºС.

Температура спекания ПТФЭ (370 ± 5 ºС), поэтому в процессе разложения PbO_2 может превратиться только в $Pb_{12}O_{17}$ в матрице полимера. Дальнейшее превращение $Pb_2O_3 \rightarrow Pb_3O_4 \rightarrow PbO$ проходит при более высоких температурах. Исследуя более подробно образцы (рис. 1) после термической обработки дефекты типа трещины расположены в средней части образцов. Средняя часть является самым непропрессованным участком. Количество дефектов (разрыв материала) небольшое. Трещины начинаются параллельно плоскости прессования изнутри образца.



Рисунок 1 – Образец (PbO_2 40 мас% +ПТФЭ 60 мас%) после термообработки при температуре 370 ± 5 ºС и выдержке 6 часов

Figure 1 – Sample (PbO2 40 wt% +PTFE 60 wt%) after heat treatment at a temperature of 370 ± 5 °C and exposure for 6 hours

Известно [17], что в процессе нагрева наружные слои фторопластовых заготовок первыми когезионно сплавляются (спекаются), что затрудняет в дальнейшем выход абсорбированных газов с поверхности частиц и воздуха из пор между спрессованными частицами. Процесс плавления кристаллических областей ПТФЭ начинается при 280 ºС и завершается при 330 ºС. Критической на этом участке является температура 327 ºС – точка гелеобразования. Наблюдается значительное увеличение размеров фторопластовых прессовок, примерно на 25 % [18]. При дальнейшем повышении температуры частицы полимера сплавляются, образуя монолитный блок. Время термообработки заготовок рассчитывают так: за 1 час выдержки сплавление на 3 мм при температуре 370 ± 5 ºС. Авторы работы [20] утверждают, что реальный блочный фторопласт-4 представляет собой достаточно пористое тело (1–2 %), а при наполнении ПТФЭ различными порошками наблюдается дополнительное увеличение пористости композита вплоть до образования макроскопических протяженных областей «рыхлой» структуры с пористостью до 5 % или более. По мнению авторов данной работы, такая пористость в наполненных композитах возможна только в центре образцов. Согласно исследованиям в работе [9], наружные слои заготовок сплавляются в монолит значительно раньше. Частицы PbO, находящиеся в наружном слое, попадают в монолитный слой фторопласта до начала химической реакции, которая начинается середине образца.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В работах [1, 4] получены качественные заготовки с содержанием 40 мас% PbO_2 при снижении температуры спекания до 360 ºС, а также с высокодисперсными добавками (Sb_2O_5, $CoAl_2O_4$, MoO_2) и массой более 0,05 кг. При снижении температуры спекания до 360 ºС наблюдается существенное замедление как процесса сплавления частиц фторопласта, так и процесса разложения $PbO_2 \rightarrow PbO$ в полимерной матрице. Замедление процесса разложения $PbO_2 \rightarrow PbO$ объясняется наличием высокодисперсных добавок на поверхности частиц диоксида свинца.

При температуре спекания в данных композициях не наблюдаются термохимические реакции, поверхностный слой ПТФЭ начинает монолитизироваться, создавая наружную оболочку. Частицы диоксида свинца, присутствующие в поверхностном слое, разлагаются, при этом продукты разложения могут до какого-то момента выходить наружу. С увеличением толщины монолитизированного слоя выход продуктов разложения затрудняется. Частицы PbO_2, находящиеся в глубинных слоях образца, продолжают разлагаться, что приводит к повышению давления внутри, которое сбрасывается за счет образования трещин. Наполнение 40 мас% частицами PbO_2 фторопластовой композиции является критической массой, которой достаточно для образования газов, повышающих давление внутри образца.

ВЫВОДЫ

Процесс нарушения сплошности во фторопластовых заготовках, наполненных дисперсными порошками диоксида свинца, наблюдается в виде дефектов. Дефекты типа трещин образуются в середине образцов, параллельно плоскости прессования. При термообработке заготовок монолитизация частиц фторопласта начинается с наружных слоев, что препятствует выходу абсорбированных газов с поверхности частиц и воздуха из различных пор из внутренних слоев. В результате термического разложения диоксида свинца при температуре 370–380 ºС внутри фторопластовых образцов возникает повышенное давление газов, которое сбрасывается за счет образования трещин. Данное предположение требуют дальнейших уточнений и более детальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pratt G.C. Recent developments in polytetrafluorethylene-based dry bearing materials and treatments // Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, conference materials. 1966. V. 181. № 16. P. 58–69. https://doi.org/10.1243/PIME_CONF_1966_181_299_02.

2. Pratt G.C. Lubrication and lubricats / Ed. E.R. Bruith waite. Amsterdam ; London ; New York : Elsevier Publ. Co. 1967. P. 377–426.

3. Gao J., Zhao J., Dang H. // ASLE: proc. 3rd Int. Conf. on Solid Lubrication / ed. Bisson E.E. NJ : ASLE, Park Ridge, 1984, pp. 308–312.

4. Рогов В.Е., Корнопольцев Н.В., Могнонов Д.М., Аюрова О.В., Максанова Л.Б. Свинецсодержащие антифрикционные материалы на основе политетрафторэтилена // Трение и износ. 2001. Т. 22. № 1. С. 104–108.

5. Рогов В.Е. О получении качественных изделий из свинецсодержащих фторопластовых композиций // Вестник машиностроения. 2010. № 7. С. 53–59.

6. Рогов В.Е., Цыренова Г.Д. Взаимодействие свинецсодержащих наполнителей с фторопластовой матрицей при спекании // Фундам. проблемы совр. материаловедения. 2012. Т. 9. № 3. С. 315–318.

7. Рогов В.Е. Влияние дисперсности свинцовых порошков на износостойкие свойства фторопластовых композиций // Фундам. проблемы совр. материаловедения. 2009. Т. 6. № 1. С. 81–89.

8. Бохоева Л.А., Рогов В.Е., Бочектуева Е.Б., Балданов А.Б., Шатов М.С., Батуев Ц.А. Применение наноразмерных компонентов в многослойных композиционных материалах // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2024. Т. 16. № 2. С. 180–188.

9. Рогов В.Е., Курбатов Р.В., Бохоева Л.А. Термохимическое взаимодействие оксида свинца с фторопластовой матрицей // Журнал прикладной химии. 2019. Т. 92. № 2. С. 187–190.

10. Рогов В.Е., Курбатов Р.В., Бохоева Л.А. Взаимодействие дисперсных частиц свинца с фторопластовой матрицей при термообработке // Журнал прикладной химии. 2022. Т. 95. № 5. С. 604–610.

11. Корнопольцев В.Н., Могнонов Д.М. Диоксид свинца как модификатор композиционных материалов на основе политетрафторэтилена // Вопросы материаловедения. 2010. № 1 (61). С. 72–77.

12. Рогов В.Е., Цыренова Г.Д., Черский И.Н. Трибосинтез фторида свинца при трении фторопластовых свинец содержащих композиций и его влияние на их износостойкость // Трение и износ. 2009. Т. 30. № 4. С. 390–395.

13. Столярова И.А., Филатова М.П. Атомно-адсорбционная спектрометрия при анализе минерального сырья. Л. : Недра. 1981. С. 56–61.

14. Извозчиков В.А., Тимофеев О.А. Фотопроводящие оксиды свинца в электронике. Л. : 1979. С. 7–35.

15. Куликов И.С. Термодинамика оксидов. М. : 1986. С. 115–120.

16. Ilaria Costantini, Pier Paolo Lottici, Kepa Castro and Juan Manuel Madariaga Use of Temperature Controlled Stage Confocal Raman Microscopy to Study Phase Transition of Lead Dioxide (Plattnerite) // Minerals 2020. 10. 468. doi: 10.3390/ min10050468.

17. Гегузин Я.Е. Почему и как исчезает пустота. Наука. 1974. 208 с.

18. Пугачев А.К., Росляков О.А. Переработка фторопластов в изделия // Технология и оборудование. Л. : Химия. 1987. С. 101–104.

19. Машков Ю.К., Овчар М.Ю., Байбарацкая М.Ю., Мамаев О.А. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М. : Машиностроение. 2005. С. 132.

20. Хатипов С.А., Артамонов Н.А. Создание нового антифрикционного и уплотнительного материала на основе радиационно-модифицированного политетрафторэтилена // Российский химический журнал. 2008. Т. 52. № 3. С. 89–96.

Информация об авторах

В. Е. Рогов – доктор технических наук, научный сотрудник Байкальского института природопользования Сибирского отделения Российской академии наук.

Л. А. Бохоева – доктор технических наук, профессор Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

О. Ж. Аюрова – кандидат технических наук, доцент кафедры неорганической и органической химии Бурятского государственного университета.

А. С. Чермошенцева – кандидат технических наук, доцент кафедры РК5 Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Information about the authors

V.E. Rogov - Doctor of Technical Sciences, Research Associate of the Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

L.A. Bokhoeva - Doctor of Technical Sciences, Professor, East Siberian State University of Technology and Management, Irkutsk National Research Technical University.

O.Zh. Ayurova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Inorganic and Organic Chemistry, Buryat State University.

A.C. Chermoshentseva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the RK5 Department of the Bauman Moscow State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 244–249.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 244–249.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки).
УДК 620.22
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.039 EDN: XJOVIH

АНАЛИЗ ОБРАЗЦОВ ИЗ МАТЕРИАЛА Д16Т ПОСЛЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Сергей Леонидович Леонов [1], Алексей Михайлович Иконников [2], Дмитрий Евгеньевич Соломин [3], Никита Алексеевич Иконников [4]

[1, 2, 4] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
[3] Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия
[1] sergey_and_nady@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6404-625X
[2] iamagtu@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-3723-7952
[3] d147s@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0527-5359
[4] ikonnikov-nik@inbox.ru, https://orcid.org/0009-0006-1837-4002

Аннотация. Статья посвящена определению весового съема материала и влиянию процесса магнитно-абразивной обработки на поверхностный слой обрабатываемого изделия. Изложены проведенные экспериментальные исследования.

***Ключевые слова*:** магнитно-абразивная обработка, весовой съем, микротвердость, поверхностно-пластичекое деформирование.

Благодарности: Авторы выражают благодарность коллегам за помощь в проведении исследований.

Для цитирования: Леонов С. Л., Иконников А. М., Соломин Д. Е., Иконников Н. А. Анализ образцов из материала д16т после магнитно-абразивной обработки // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 244–249. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.039. EDN: https://elibrary.ru/XJOVIH.

Original article

ANALYSIS OF SAMPLES FROM D16T MATERIAL AFTER MAGNETIC ABRASIVE TREATMENT

Sergey L. Leonov [1], Alexey M. Ikonnikov [2], Dmitriy E. Solomin [3], Nikita A. Ikonnikov [4]

[1, 2, 4] Polzunov Altai state technical University, Barnaul, Russia
[3] Altai State University, Barnaul, Russia
[1] sergey_and_nady@mail.ru https://orcid.org/0000-0001-6404-625X
[2] iamagtu@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-3723-7952
[3] d147s@mail.ruhttps://orcid.org/0000-0002-0527-5359
[4] ikonnikov-nik@inbox.ru https://orcid.org/0009-0006-1837-4002

Abstract. *The article is devoted to the determination of the weight removal of the material and the effect of the magnetic abrasive treatment process on the surface layer of the processed product. The conducted experimental studies are based on.*

Keywords: *magnetic abrasive treatment, weight loss, micro-hardness, surface plastic deformation.*

Acknowledgements: *The authors express their gratitude to their colleagues for their help in conducting the research.*

For citation: Leonov, S. L., Ikonnikov, A. M., Solomin, D. E. & Ikonnikov, N. A. (2026). Analysis of samples from d16t material after magnetic abrasive treatment. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 244-249. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.039. EDN: https: //elibrary.ru/XJOVIH.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ИССЛЕДОВАНИЯ И АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Эксплуатационные свойства деталей машин в значительной степени определяются состоянием поверхности этой детали. В процессе их изготовления методы механической обработки создают на обрабатываемой поверхности слой, обладающий свойствами, отличными от основного материала детали. На практике обычно рассматривают микротвердость и шероховатость поверхности детали. Обеспечение заданных микротвердости и шероховатости обработанных поверхностей считается основной задачей операции механической обработки.

Обычно для достижения низкой шероховатости обработанной поверхности (Ra < 0,1 мкм) используют

© Леонов С. Л., Иконников А. М., Соломин Д. Е., Иконников Н. А., 2026

полирование [4, 12, 22]. Однако этот метод финишной обработки чаще всего подразумевает ручной труд. Для его автоматизации можно использовать магнитно-абразивную обработку (МАО) [14].

МАО относится к абразивной обработке, при которой съем металла производится за счет массового взаимодействия вершин абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью. При этом вершины внедряются в обрабатываемую поверхность на разную (случайную) глубину и хаотично (случайно) расположены на поверхности инструмента.

Съем металла с заготовки определяет производительность процесса обработки и в значительной степени влияет на формирование шероховатости получаемой поверхности (рисунок 1). Удаление металла происходит путем формирования режущими вершинами зерен микростружек.

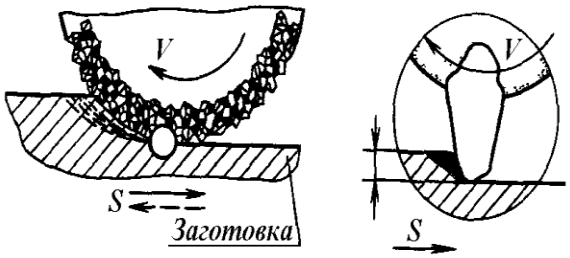


Рисунок 1 – Механизм съема металла [64]

Figure 1 – Metal removal mechanism

Различают размерный и весовой съем металла. Изменение размера (размерный съем) при полировании достаточно сложно зафиксировать в связи с его малой величиной. Поэтому обычно измерение съема путем измерения изменения веса заготовки. Современные электронные аналитические весы позволяют фиксировать изменение веса детали с точностью 0,01 мг [22].

В сравнении с традиционным шлифованием магнитно-абразивная обработка отличается более низкой скоростью резания, что приводит к снижению производительности. Однако этот подход обеспечивает ряд преимуществ [1]:

1. Меньше нагрев и деформации: благодаря более низкой скорости и силам резания, магнитно-абразивная обработка значительно снижает тепловыделение и риск возникновения прижогов на поверхности материала.

2. Стойкость инструмента: отсутствие засаливания инструмента [20, 21] – значительный плюс магнитно-абразивной обработки, особенно при работе с алюминием.

3. Самоочистка: магнитно-абразивная обработка позволяет избавиться от проблемы засорения рабочей зоны стружкой, так как немагнитные частицы не удерживаются магнитным полем и фактически выдавливаются из рабочего зазора.

Таким образом, магнитно-абразивная обработка, несмотря на меньшую скорость, обеспечивает более качественную обработку с меньшим риском повреждения материала и засаливания инструмента.

При МАО съем материала и формирование шероховатости происходит благодаря взаимодействию множества мелких абразивных зерен с поверхностью обрабатываемой детали. Эти зерна имеют сложную случайную форму, а также случайно расположены вдоль поверхности обрабатываемой заготовки, что приводит к неравномерному внедрению в материал.

Каждое зерно контактирует с поверхностью лишь несколькими своими острыми гранями, которые могут располагаться в разных местах на инструменте и проникать в материал на разную глубину.

Зерна магнитно-абразивного порошка состоят из двух компонентов: магнитного материала (чаще всего – железа) и абразивного. При изготовлении магнитная и абразивная фракция спекаются, а затем размалываются. Поэтому каждая частица порошка обладает магнитными свойствами для удержания в магнитном поле и имеет острые абразивные вершины для осуществления съема металла.

В процессе обработки абразивные вершины вдавливаются в обрабатываемую поверхность и кроме съема металла могу пластически ее деформировать.

Поверхностно-пластическое деформирование приводит к следующим эффектам:

1. Происходит увеличение микротвердости поверхностного слоя.

2. Снижается шероховатость обработанной поверхности.

3. Возникновение сжимающих напряжений в поверхностном слое повышает сопротивление усталости и коррозионную стойкость получаемых поверхностей.

В соответствии с вышеизложенным, целью данной работы является выявление закономерностей съема металла и упрочнения поверхностей детали при магнитно-абразивной обработке заготовок из алюминиевых сплавов

Материалы и методы

Анализ процесса обработки алюминиевых сплавов основан на фундаментальных положениях технологии машиностроения, теории резания, системного анализа, механики материалов. Теоретические предположения были проверены экспериментально в лабораторных условиях. При обработке данных использованы методы теории вероятности и математической статистики. Микротвердость обработанной поверхности измерялась с использованием микротвердомера фирмы «Metkon». Для оценки шероховатости поверхности были использованы приборы и методы профилографирования, позволяющие определить ее микрорельеф с высокой точностью. Съем металла определялся с использованием весового метода.

На рисунках 2 и 3 показаны образцы для проведения экспериментальных исследований. Материал заготовки – сплав Д16Т. Предварительная обработка (фрезерование) осуществлялась торцовой фрезой с пластинами из твердого сплава ВК3 (рисунок 4). Шероховатость поверхности после МАО определялась на профилографе-профилометре HOMMEL Tester W55 (рисунок 5).

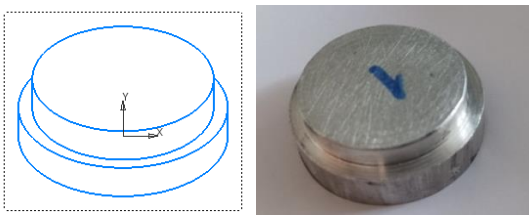


Рисунок 2 – Образцы для изучения весового съема:
а) 3D модель; б) образец из Д16Т

Figure 2 – Samples for studying weight removal:
a) 3D model; b) sample from D16T



Рисунок 3 – Пруток из материала Д16Т

Figure 3 – Rod made of D16T material



Рисунок 4 – Предварительная подготовка образцов

Figure 4 – Preliminary sample preparation

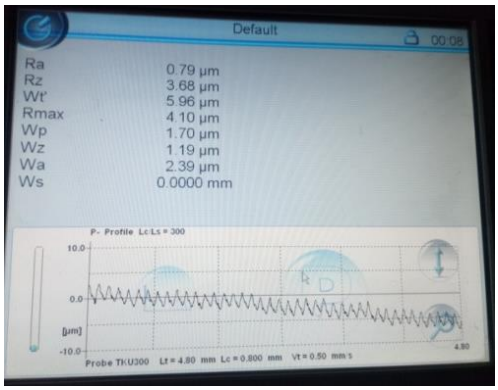


Рисунок 5 – Профилограмма поверхности после фрезерования

Figure 5 – Profilogram of the surface after milling

Подготовка поверхности (фрезерование) наносит на ее регулярный микрорельеф. На рисунке 5 виден профиль поверхности после фрезерования. Образцы подвергались магнитно-абразивной обработке с помощью индуктора диаметром 180 мм (рисунок 7), вращающегося со скоростью 200 мин$^{-1}$. Продолжительность обработки варьировалась от 1 до 3 минут. Для обработки использовался магнитно-абразивный порошок фракции 40/16. Перед обработкой для каждого образца измерялись значения шероховатости поверхности и массы [22]. Масса измерялась на аналитических весах САРТОГОСМ (рисунок 8).



Рисунок 6 – Образцы после обработки после МАО

Figure 6 – Samples after treatment after MAO

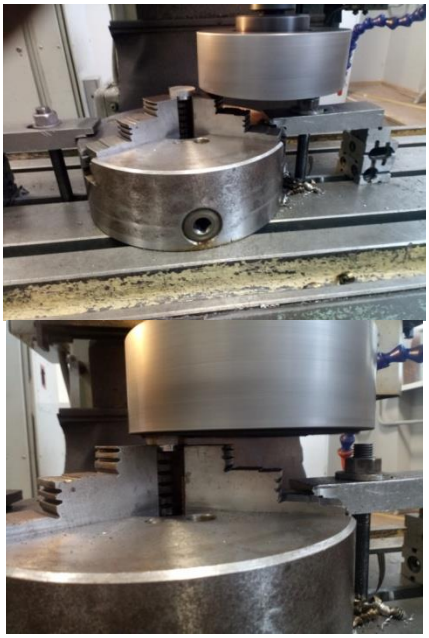


Рисунок 7 – Магнитно-абразивная обработка образцов

Figure 7 – Magnetic abrasive processing of samples



Рисунок 8 – Аналитические весы САРТОГОСМ

Figure 8 – SARTOGOS Manalyti calscales

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты измерений шероховатости и съема металла в зависимости от времени обработки представлены в таблице 1. Из этих данных видно, что при использовании абразивного порошка с зернистостью 40/16 за 3 минуты обработки происходит заметное уменьшение шероховатости поверхности (параметр Ra) с 0,8063 до 0,4836 мкм. Кроме того, уменьшение массы образца на 0,0017 г за тот же период подтверждает, что во время магнитно-абразивной обработки происходит снятие материала. После магнитно-абразивной обработки исследовались образцы на микротвердомере «Metcon» (рис. 9). Вдавливался индентор с массами 50 и 100 грамм. Фотография образца под микроскопом показана на рисунке 10.

Таблица 1 – Весовой съем материала

Table 1 – Weight removal of the material

Образец	Шероховатость до обработки Ra, мкм	Шероховатость после обработки Ra, мкм	Масса до обработки, г	Масса после обработки, г	Зернистость	Время, мин	Разница масс г	Съем экспериментальный, мкм/мин
1	0,8032	0,6505	18,5672	18,5662	40/16	1	0,001	0,1527
2	0,7939	0,5724	17,9022	17,9008	40/16	2	0,0014	0,11075
3	0,8063	0,4836	18,405	18,4003	40/16	3	0,0017	0,1075666



Рисунок 9 – Микротвердомер «Metkon»

Figure 9 – Metkon micro hardness tester

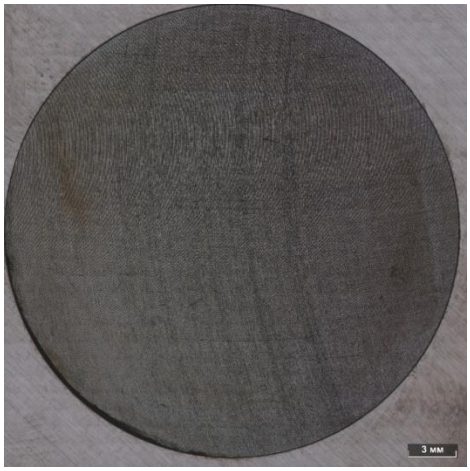


Рисунок 10 – Образец под микроскопом

Figure 10 – A sample under a microscope

После вдавливания индентора массой 100 г в образец, не подвергавшийся магнитно-абразивной обработке, получились значения, показанные на рисунках 11 и 13. Микротвердомер «Metkon» выдает полноценный протокол исследований, в котором присутствует график микротвердости в различных точках (рис. 12 и 14).

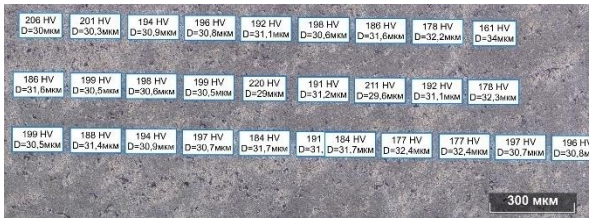


Рисунок 11 – Микротвердость образца без МАО при вдавливании индентора 100 грамм

Figure 11 – Microhardness of a sample without MAO when indenting an indenter of 100 grams

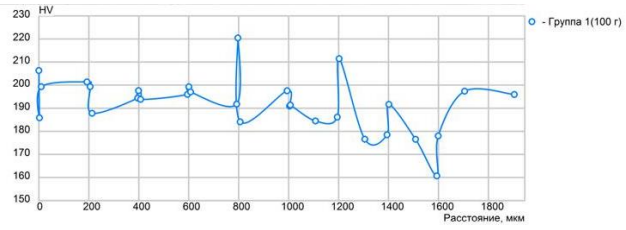


Рисунок 12 – График микротвердости в различных точках

Figure 12 – Graph of microhardness at various points

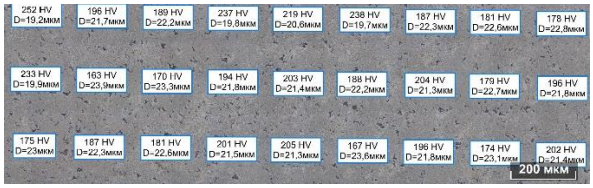


Рисунок 13 – Микротвердость образца без МАО при вдавливании индентора 50 грамм

Figure 13 – Microhardness of a sample without MAO when indenting an indenter of 50 grams

Среднее значение микротвердости образца без магнитно-абразивной обработки 192 HV при вдавливании 100 грамм и 196 HV при вдавливании 50 грамм.

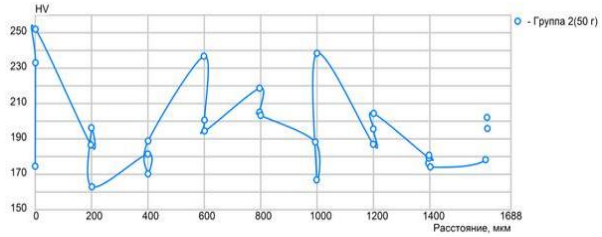


Рисунок 14 – График микротвердости в различных точках

Figure 14 – Graph of microhardness at various points

В таблице 2 приведены средние значения микротвердости для образцов с различным временем магнитно-абразивной обработки.

Таблица 2 – Среднее значение величины микротвердости поверхностного слоя после магнитно-абразивной обработки

Table 2 – The average value of the microhardness of the surface layer after magnetic abrasive treatment

Время обработки образца	Среднее значение микротвердости HV при вдавливании индентора с массой 50 гр	Среднее значение микротвердости HV при вдавливании индентора с массой 100 гр
1 минута	184	186
2 минуты	180	185
3 минуты	178	173

Исходя из данных таблицы 1 можно говорить о том, что микротвердость уменьшается со 192 до 173 HV. Уменьшение микротвердости свидетельствует о том, что слой наклепа после лезвийной обработки удален при помощи магнитно-абразивной обработки. Толщина наклепанного слоя настолько мала, что при измерении микротвердости индентор его прокалывает.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Магнитно-абразивная обработка осуществляется за счет массового взаимодействия магнитно-абразивных зерен, удерживаемых магнитным полем в зазоре между индуктором и заготовкой, с поверхностью этой заготовки. Глубина внедрения режущих вершин зерен в металл является случайной величиной и крайне мала. Как и любая механическая обработка, магнитно-абразивная обработка создает наклеп на обработанной поверхности. Но в связи с очень малой глубиной внедрения абразивных вершин в обрабатываемый материал толщина наклепанного слоя мала (значительно меньше, чем при предварительной обработке фрезерованием). Исходя из полученных данных (таблица 2) можно утверждать, что микротвердость заготовки в процессе обработки снижается. Скорость ее снижения составляет 5,8 единиц HV в минуту. Уменьшение микротвердости свидетельствует о том, что слой наклепа после лезвийной обработки удаляется при помощи магнитно-абразивной обработки. Толщина нанесенного наклепанного магнитно-абразивной обработкой слоя настолько мала, что при измерении микротвердости индентор его прокалывает.

2. Низкая скорость резания при магнитно-абразивной обработке приводит к незначительному съему металла, который можно зафиксировать только весовым методом. В то же время шероховатость поверхности заготовки изменяется существенно: за 3 минуты обработки порошком фракции 40/16 происходит уменьшение шероховатости поверхности по параметру Ra с 0,8063 до 0,4836 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. Л.; Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1986. 176 с. : ил.

2. Кожуро Л.М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л.М. Кожуро, Б.П. Чемисов. Минск : Наука и техника, 1995. 232 с.

3. Коновалов Е.Г. Чистовая обработка деталей в магнитном поле ферромагнитными порошками / Е.Г. Коновалов, Г.С. Шулев. Минск : Наука и техника, 1967. 125 с.

4. Крагельский И.В. Влияние шероховатости и свойств материала на фактическую площадь касания поверхностей. М. : Изд-во АН СССР, 1961, С. 12–15.

5. Крымский М.Д. Распределение и уплотнение магнитноабразивного порошка в рабочем зазоре станка / М.Д. Крымский // Магнитноабразивные материалы и методы их испытания. Киев, 1980. С. 92–97.

6. Леонов С.Л. Определение глубины внедрения режущей части зерна в металл при магнитно-абразивной обработке / Леонов С.Л., Иконников А.М., Соломин Д.Е. // Актуальные проблемы в машиностроении. 2020. Т. 7. № 1–2. С. 27–30.

7. Леонов С.Л. Распределение радиусов режущих вершин при магнитно-абразивной обработке / Леонов С.Л. Иконников А.М Соломин Д.Е. // Ползуновский альманах. 2021. № 3. С. 29–32.

8. Леонов С.Л. Расчет магнитной индукции в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке плоских поверхностей заготовок из ферро-магнитных и немагнитных материалов индуктором на постоянных магнитах / С.Л. Леонов, А.М. Иконников, Р.В. Гребеньков // Актуальные проблемы в машиностроении. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. Т. 4. № 3. С. 49–55.

9. Леонов С.Л. Стохастическое моделирование формирования шероховатости при магнитно-абразивной обработке / Леонов С.Л., Иконников А.М., Соломин Д.Е. // Воронежский научно-технический Вестник. 2023. Т. 4. № 1 (43). С. 35–44.

10. Леонов С.Л. Установление параметров распределения радиусов режущих вершин магнитно-абразивных зерен / Леонов С.Л., Иконников А.М., Соломин Д.Е. // Воронежский научно-технический вестник. № 3. С. 24–35.

11. Наливко Г.Д. Некоторые свойства магнитно-абразивных порошков из псевдоплавленных композиций / Г.Д. Наливко // Порошковая металлургия. 1979. № 8. С. 83.

12. Новоселов Ю.К. Динамика формирования поверхностей при абразивной обработке : монография / Ю.К. Новоселов. Севастополь : СевНТУ, 2012. 304 с.

13. Приходько С.П. Магнитно-абразивное полирование индукторами на постоянных магнитах / С.П. Приходько, Ю.М. Барон // Автотракторное электрооборудование. 1983. № 5. С. 11–14. 143.

14. Приходько С.П. Магнитные индукторы для полирования наружных поверхностей вращения / С.П. Приходько // Повышение эффективности технологических процессов машиностроительного производства. Барнаул, 1989. С. 35. 144.

15. Приходько С.П. Магнитные индукторы для полирования плоских поверхностей / С.П. Приходько // Повышение эффективности технологических процессов машиностроительного производства. Барнаул, 1989. С. 52.

16. Приходько С.П. Моделирование процесса магнитно-абразивной обработки деталей машин на ЭВМ / С.П. Приходько // Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты в технологии машиностроения. Барнаул, 1987. С. 115–119. 146.

17. Приходько С.П. Роль вихревых токов в процессе магнитноабразивной обработки / С.П. Приходько // Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты в технологии машиностроения. Барнаул, 1989. С. 104–107.

18. Приходько С.П. Технологические закономерности магнитноабразивного полирования индукторами на постоянных магнитах / Приходько Ю.М. Барон // Автотракторное электрооборудование. М., 1983. № 6. С. 12–14.

19. Сакулевич Ф.Ю. Объемная магнитно-абразивной обработка / Ф.Ю. Сакулевич, Л.М. Кожухов. Минск : Наука и техника, 1978. 168 с. 156.

20. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич. Минск : Наука и техника, 1981. 328 с. 157.

21. Сакулевич Ф.Ю., Минин Л.К., Олендер Л.А. Магнитноабразивная обработка точных деталей. Мн.; Высшая школа, 1977. 288 с. : ил.

22. Соломин Д.Е. Прогнозирование шероховатости поверхностей деталей и производительности процесса магнитно-абразивной обработки алюминиевых сплавов методами стохастического моделирования: дисс. … кан. техн. наук / Соломин Д.Е. Барнаул, 2024. 150 с.

Информация об авторах

С. Л. Леонов – профессор кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова», доктор технических наук, профессор.

А. М. Иконников – профессор кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова», доктор технических наук, доцент.

Д. Е. Соломин – доцент кафедры «Цифровых технологий и бизнес аналитики», ФГБОУ ВО «Алтайского государственного университета.

Н. А. Иконников – студент кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова».

Information about the authors

S.L. Leonov - Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Polzunov Altai State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor.

A.M. Ikonnikov - Professor of the Department of Mechanical Engineering, Polzunov Altai State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.

D.E. Solomin - Associate Professor of the Department of Digital Technologies and Business Analytics, Altai State University, Candidate of Technical Sciences.

N.A. Ikonnikov - is a student of the Department of Mechanical Engineering, 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 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 250–256.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 250–256.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки).
УДК 544.16:691.175.2:620.172.2
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.040 EDN: XQCAAO

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Дмитрий Анатольевич Негров [1], Виталий Юрьевич Путинцев [2], Егор Владимирович Князев [3], Алексей Игоревич Глотов [4], Денис Александрович Вебер [5]

[1, 2, 3, 4, 5] Омский государственный технический университет, Омск, Россия
[1] negrov_d_a@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5713-5470
[2] putintsev_vit@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2003-0819
[3] knyazevyegor@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6450-5364
[4] aiglotov@omgtu.ru, https://orcid.org/0009-0005-4722-1278
[5] daveber@omgtu.ru, https://orcid.org/0009-0000-9227-7493

Аннотация. *В данной работе представлены исследования влияния химической функционализации углеродных нанотрубок на механические и трибологические свойства полимерного композиционного материала.*

С применением метода сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного анализа изучены морфологические особенности и элементный состав углеродных нанотрубок до и после функционализации.

Представлены результаты экспериментальных исследований изменения механических характеристик, трибологических свойств и надмолекулярной структуры полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена, модифицированного углеродными нанотрубками. Установлено, что применение функционализированных нанотрубок позволяет повысить механические свойства композита: предел прочности при растяжении до 10 %, модуль упругости до 25 %, а также позволяет снизить интенсивность массового изнашивания материалаболее чем в 2 раза.

Установлено, что применение функционализации нанотрубок способствует их более равномерному распределению между сферолитными частицами политетрафторэтилена, что способствует увеличению предела прочности и износостойкости материала.

Ключевые слова: *политетрафторэтилен, углеродные нанотрубки, полимерный композиционный материал, функционализация, механические характеристики, трибологические свойства.*

Благодарности: *Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSGF-2024-0003.*

Для цитирования: Влияние химической функционализации углеродных нанотрубок на структуру и механические свойства полимерного композиционного материала / Д. А. Негров [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 250–256. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.040. EDN: https://elibrary.ru/XQCAAO.

Original article

INFLUENCE OF CHEMICAL FUNCTIONALIZATION OF CARBON NANOTUBES ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITE MATERIAL

Dmitriy A. Negrov [1], Vitaliy Yu. Putintsev [2], Egor V. Knyazev [3], Alexey Ig. Glotov [4], Denis A. Veber [5]

[1, 2, 3, 4, 5] Omsk State Technical University, Omsk, Russia
[1] negrov_d_a@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5713-5470
[2] putintsev_vit@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2003-0819
[3] knyazevyegor@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-6450-5364
[4] aiglotov@omgtu.ru, https://orcid.org/0009-0005-4722-1278
[5] daveber@omgtu.ru, https://orcid.org/0009-0000-9227-7493

Abstract. *This research presents studies of the effect of chemical functionalization of carbon nanotubes on the mechanical and tribological properties of a polymer composite material.*

The morphological features and elemental composition of carbon nanotubes before and after functionalization were studied by means of scanning electron microscopy and energy dispersive analysis.

© Негров Д. А., Путинцев В. Ю., Князев Е. В., Глотов А. И., Вебер Д. А., 2026

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

The research presents the results of experimental studies of changes in the mechanical characteristics, tribological properties and supramolecular structure of polymer composite materials based on polytetrafluoroethylene modified with carbon nanotubes. It has been established that the use of functionalized nanotubes allows increasing the mechanical properties of the composite: tensile strength up to 10%, elastic modulus up to 25%, and reduces the intensity of mass wear of the material by more than 2 times.

It has been found that the use of nanotube functionalization contributes to their more uniform distribution between the spherulitic particles of polytetrafluoroethylene, which contributes to an increase in the tensile strength and wear resistance of the material.

Keywords: polytetrafluoroethylene, carbon nanotubes, polymer composite material, functionalization, mechanical characteristics, tribological properties.

Acknowledgements: *The study was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Project No. FSGF-2024-0003.*

For citation: Negrov, D. A., Putintsev, V. Yu., Knyazev, E. V., Glotov, A. Ig. & Veber, D. A. (2026). Influence of chemical functionalization of carbon nanotubes on the structure and mechanical properties of polymer composite material. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 250-256. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.040. EDN: https: //elibrary.ru/XQCAAO.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной отечественной машиностроительной отрасли сопряжено с разработкой и созданием новых материалов триботехнического назначения, которые должны обеспечивать повышенную надежность и долговечность работы узлов трения механизмов. Одни из наиболее применяемых полимерных композиционных материалов (ПКМ) антифрикционного назначения изготавливаются на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ). Политетрафторэтилен обладает уникальным сочетанием химической инертности, триботехнических характеристик и других эксплуатационных свойств [1–3]. Наряду с комплексом уникальных свойств ПТФЭ обладает и рядом недостатков, таких как низкая износостойкость и повышенная ползучесть при длительном воздействии сжимающей нагрузки, что существенно снижает ресурс работы материала и ограничивает область его применения.

Для решения данной проблемы ПТФЭ применяют в качестве матричного материала для создания антифрикционных полимерных композиционных материалов. В процессе синтеза композитов используются различные методы модификации: введение в полимерную матрицу наполнителей-модификаторов, химическая модификация поверхности, а также применение внешнего энергетического воздействия в процессе синтеза композиционного материала [4–5].

Тематикой исследований влияния различных наполнителей на свойства ПКМ триботехнического назначения активно занимаются коллективы ученых под руководством Охлопковой А.А, Адаменко Н.А., Панина С.В. На основании проведенных ими исследований установлено, что положительное влияние наполнителей на трибологические свойства композиционных материалов обусловлено несколькими факторами: формой и размером частиц наполнителей, равномерностью распределения в матрице и от вида их активации [6–8]. В частности, при добавлении наполнителей в политетрафторэтилен происходит изменение параметров и строения кристаллической структуры, что оказывает влияние на улучшение его свойств и устранение различных дефектов [9–10].

В настоящее время внимание уделяется наноструктурам и нанотехнологиям. Проведенные исследования установили, что эффект от применения наноразмерных наполнителей при низкой массовой доле наполнения соответствует или превосходит эффективность введения различных микрометровых частиц [11–12].

Среди применяемых наноразмерных наполнителей особый интерес для ПКМ триботехнического назначения представляют углеродные нанотрубки (УНТ).

В ряде работ указывают, что УНТ обладают антифрикционными свойствами и термической стабильностью, что позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики полимерных композиционных материалов триботехнического назначения [13–14].

Свойства композитов, наполненных наноразмерными наполнителями, во многом определяются характером взаимодействия на границе раздела «полимер–поверхность наполнителя». Увеличение степени адгезионного взаимодействия между наполнителем и полимером может быть реализовано путем проведения функционализации поверхности наполнителя различными методами [15–16]. Наиболее удобным и контролируемым методом функционализации углеродных материалов является химическая обработка, которая позволяет целенаправленно высаживать необходимые функциональные группы на поверхности углеродных материалов, а степень модифицирования контролируется длительностью обработки. В процессе проведения химической обработки достигается эффект двойного действия, при котором на поверхности нанотрубок формируются дефекты в графеновых слоях, а затем на этих дефектах происходит закрепление кислородсодержащих функциональных групп. Модификация поверхности углеродных наполнителей позволяет повысить сродство к полимеру и смачиваемость поверхности наполнителя при полимеризации, что приводит к более однородной структуре композита и повышает эксплуатационные свойства изделий из ПКМ [17].

Целью данной работы является определение закономерностей влияния применения химически функционализированных углеродных нанотрубок на механические характеристики, трибологические свойства и параметры структуры ПКМ на основе политетрафторэтилена.

МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись композиционные материалы системы ПТФЭ-УНТ. Основу материала составлял промышленно выпускаемый тонкомолотый суспензионный порошок политетрафторэтилена торговой марки RX015, производства АО «Гало Полимер», Кирово-Чепецк (средний размер частиц 14–24 мкм, плотность 2,16 г/см^3).

В качестве наполнителя применялись УНТ марки МУНТ-2 производства Института катализа СО РАН, Новосибирск (средний диаметр 10 нм, количество стенок 7–9, длина 5–25 мкм, удельная поверхность 250 м^2/г).

Для проведения химической функционализации

УНТ применялась смесь серной (H_2SO_4) и соляной кислот (HCL) в соотношении 1:3, длительность проводимой обработки составляла 120 часов. После обработки взвесь углеродных нанотрубок промывалась дистилированной водой до нейтрального pH суспензии УНТ в воде. Далее нанотрубки высушивалипри температуре 120 ºС в течение суток.

Предварительная подготовка политетрафторэтилена для изготовления композитов заключалась в проведении сушки при температуре 150 ºС в течение 4 часов с дальнейшим механическим смешением с УНТ в лабораторном смесителе лопастного типа DM-6.

Образцы для проведения исследований изготавливались по технологии статического прессования на гидравлическом прессе ГМС-50: давление прессования 80 МПа, время выдержки 60секунд [18].

После прессования образцов ПКМ производилось ступенчатое спекание в программируемой печи СНОЛ 7/10. Режим спекания ПКМ проводился по следующей схеме: плавный нагрев до температуры 360 ºС со скоростью 2 ºС/мин, выдержка при температуре 360 ºС из расчета 20 мин на 1 мм толщины образца и последующее ступенчатое регулируемое охлаждение со скоростью 0,3 ºС/мин до 327 ºС с выдержкой при данной температуре в течение 30 минут. Охлаждение образцов до комнатной температуры проводилось в камере печи.

Механические характеристики (предел прочности и относительное удлинение на разрыв) материалов определялись согласно методике по ГОСТ 11262-2017 на машине для испытаний Zwick Roell TH Z010. Модуль упругости определялся на начальном участке деформации образца по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 25.601-80. Определение твердости проводилось по Шору (шкала D) согласно ГОСТ 24621-2015.

Испытания для определения показателей триботехнических характеристик (скорость массового изнашивания, коэффициент трения) изготовленных образцов проводились на машине трения УМТ-2168. Диаметр образцов для испытаний составил 5± 0,5 мм, длина 15 ± 3 мм, в качестве контртела применялся стальной закаленный диск с твердостью поверхности не менее 45HRC, шероховатостью Rane более 0,32 мкм. При проведении испытаний к образцам прикладывалась нормальная нагрузка, равная 2 МПа, линейная скорость скольжения составляла 2.7 км/ч, время испытания – 3 часа. Перед испытаниями была проведена технологическая приработка образцов в течение 30 минут при заданных параметрах. Оценку скорости изнашивания материала проводили с помощью взвешивания на микроаналитических весах модели VIBRA–220HTR с погрешностью не более ±0,0001 г.

Морфология частиц функционализированного наполнителя и надмолекулярная структура холодного (после выдержки в жидком азоте) скола образцов ПКМ исследовалась на растровом электронном микроскопе Jeol JCM–5700. Энергодисперсионный анализ (ЭДА) проводился на рентгеновском энергодисперсионном спектрометре JED-2300.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исходном состоянии УНТ представляют собой мелкодисперсный порошок, состоящий из крупных агломератов нанотрубок (рис. 1). С целью установления влияния функционализации на изменение количества поверхностных кислородосодержащих функциональных групп проводился количественный элементный анализ методом ЭДА агломератов УНТ до и после проведения химической функционализации.

На основании данных проведенного анализа агломератов УНТ до проведения модифицирования (таблица 1), установлена низкая степень окисления поверхности нанотрубок, что свидетельствует о химической инертности материала. Максимальное и минимальное значение концентрации кислорода, измеренные на различных участках поверхности, отличаются в 4 раза.

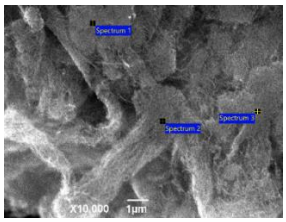


Рисунок 1 – СЭМ изображение исходных УНТ

Figure 1 – SEM image of the original CNT

Таблица 1 – Элементный состав УНТ по результатам ЭДА

Table 1 – Elemental composition of CNT according to EDA results

Область анализа	[C], масс.%	[O], масс.%
Spectrum 1	99,21	0,79
Spectrum 2	99,8	0,2
Spectrum 3	99,62	0,38

После обработки смесью кислот агломераты МУНТ становятся более рыхлыми и состоят из отдельных трубок, спутанных в «клубки» (рис. 2). Разрыхление агломератов МУНТ позволяет предположить, что подобная обработка будет способствовать более равномерному распределению МУНТ в композиционном материале и, соответственно, более эффективному армированию матрицы.

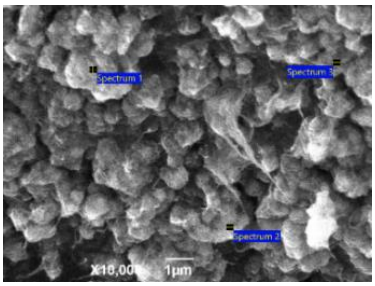


Рисунок 2 – СЭМ изображение УНТ после обработки в смеси кислот

Figure 2 – SEM image of CNT after treatment in a mixture of acids

На основании данных ЭДА функционализированных УНТ (таблица 2) установлено увеличение концентрации кислорода до 4,5 раз по сравнению с исходными, что свидетельствует о закреплении на поверхности кислородных групп. Максимальное и минимальное значения концентрации кислорода, измеренные на различных участках поверхности, отличаются в 1,2 раза, что свидетельствует об однородности окисления УНТ.

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

С целью изучения распределения УНТ в объеме матричного материала после механического смешения методом СЭМ были изучены полученные композиционные смеси с исходным и функционализированным наполнителем (рис. 3).

Таблица 2 – Элементный состав УНТ после функционализации по результатам ЭДА

Table 2 – Elemental composition of activated CNT according to EDA results

Область анализа	[C], масс.%	[O], масс.%	[S], масс.%
Spectrum 1	96,45	2,69	0,87
Spectrum 2	95,4	2,17	2,43
Spectrum 3	95,68	2,54	1,78

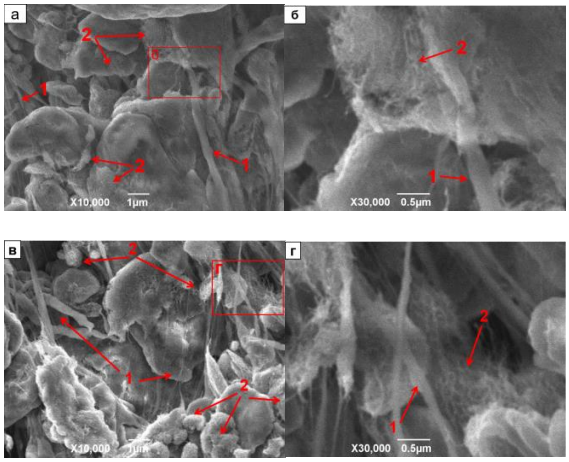


Рисунок 3 – СЭМ изображение смеси ПТФЭ+УНТ(а, б) и ПТФЭ+функционализированные УНТ (в, г):
1 – фибриллярные нити ПТФЭ;
2 – агломераты УНТ

Figure 3 – SEM image of a mixture of PTFE+CNT (а, б) and PTFE+functionalized CNT (в, г):
1 – PTFE fibrillar filaments; 2 – CNT agglomerates

Из рисунка 3 видно, что в смеси порошка ПТФЭ и углеродных нанотрубок агломераты УНТ располагаются преимущественно на крупных частицах ПТФЭ. При этом в агломератах углеродные нанотрубки распределены достаточно плотно друг к другу. После химической обработки агломераты УНТ становятся менее плотными, что позволяет им более однородно распределяться между частицами ПТФЭ в том числе и вдоль фибриллярных нитей ПТФЭ (рис. 3, *г*). Такое распределение наполнителя способствует образованию более упорядоченной структуры ПКМ в процессе спекания.

Для исследования влияния проведенной функционализации УНТ на механические и трибологические свойства ПКМ были изготовлены и испытаны комплекты образцов.

По результатам сравнительного анализа полученных данных экспериментальных исследований установлено положительное влияние применения химической функционализации наполнителя на предел прочности при разрыве ПКМ. Наибольшее влияние проведенной модификации наполнителя на увеличение прочности композита до 10 % (рис. 4, *б*), установлено в интервале наполнения ПКМ от 1 до 3 масс.% УНТ.

Однако применение предварительно химически активированных углеродных нанотрубок для изготовления ПКМ с концентрацией от 1 до 4 масс. % приводит к снижению относительного удлинения при разрыве ПКМ на 15–31 % (рис. 5, *б*). Дальнейшее увеличение доли наполнения композита нивелирует данный эффект применения активированного наполнителя. Предположительно снижение удлинения материала может быть связано с увеличением адгезионного взаимодействия на границе «матрица–наполнитель», что, в свою очередь, сказывается на повышении жесткости композита.

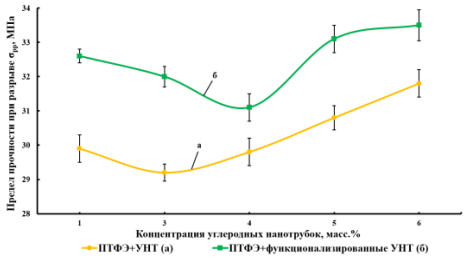


Рисунок 4 – Зависимость предела прочности при разрыве от концентрации наполнителя

Figure 4 – Dependence of the tensile strength on the filler concentration

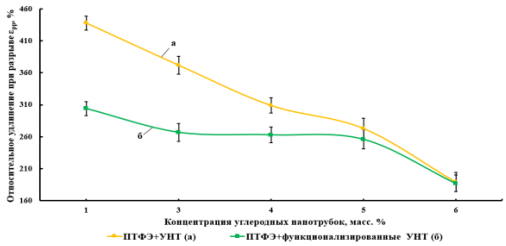


Рисунок 5 – Зависимость относительного удлинения при разрыве от концентрации наполнителя

Figure 5 – Dependence of elongation at break on filler concentration

Предварительная химическая активация наполнителя способствует улучшению упругих свойств ПКМ, что позволяет повысить модуль упругости до 25 % (рис. 6, *а*).

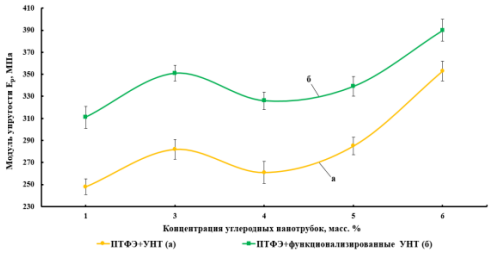


Рисунок 6 – Зависимость модуля упругости от концентрации наполнителя

Figure 6 – Dependence of the modulus of elasticity on the filler concentration

При исследовании значений твердости образцов ПКМ (рис. 7) установлено, что применение предварительно активированных нанотрубок в области концентраций от 1 до 3 масс.%, увеличивает твердость ПКМ до 5 %.

На основании анализа триботехнических свойств образцов установлено, что наибольшая эффективность применения активированных УНТ достигается при наполнении в 1 масс.%, что снижает интенсивность массового изнашивания ПКМ до 2 раз (рис. 8).

При этом наименьшая скорость изнашивания в $3{,}9 \cdot 10^{-4}$ г/ч достигается при применении 4 масс.% функционализированных нанотрубок. Данный показатель на 7 % меньше, чем у образцов, изготовленных с не активированными УНТ. Дальнейшее увеличение концентрации наполнения приводит к повышению скорости износа ПКМ.

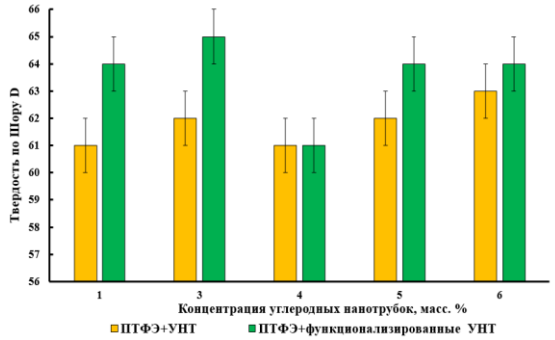


Рисунок 7 – Зависимость твердости по Шору (D) от концентрации наполнителя

Figure 7 – Dependence of Shore hardness (D) on filler concentration

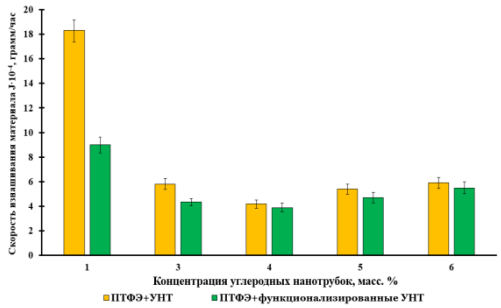


Рисунок 8 – Зависимость интенсивности массового изнашивания от концентрации наполнителя

Figure 8 – Dependence of the intensity of mass wear on the filler concentration

Из полученных данных проведенных исследований коэффициента трения композитов (рис. 9) установлено, что применение функционализированных нанотрубок для изготовления композиционного материала приводит к снижению коэффициента трения.

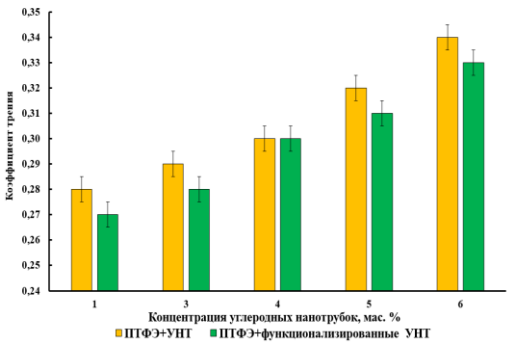


Рисунок 9 – Зависимость коэффициента трения от концентрации наполнителя

Figure 9 – Dependence of the coefficient of frictionon the filler concentration

Методом электронной сканирующей микроскопии была исследована надмолекулярная структура холодного скола образцов ПКМ с наименьшей скоростью изнашивания материала (рис. 10–11).

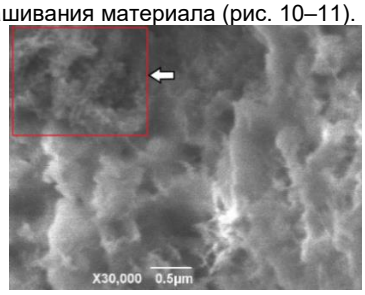


Рисунок 10 – СЭМ изображение надмолекулярной структуры холодного скола ПТФЭ наполненного 4 масс.% УНТ

Figure 10 – SEM image of the supramolecular structure of freeze-fracture PTFE filled with 4 wt.% CNT

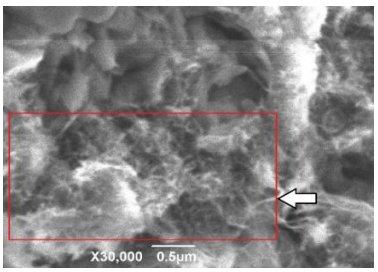


Рисунок 11 – СЭМ изображение надмолекулярной структуры холодного скола ПТФЭ, наполненного 4 масс.% функционализированными УНТ

Figure 11 – SEM image of the supramolecular structure offreeze-fracture PTFE filled with 4 wt.% functionalizedCNT

В надмолекулярной структуре ПТФЭ-композитов в выделенных областях были идентифицированы агломераты УНТ, расположенные между несимметричными сферолитоподобными частицами полимерной матрицы (рис. 10). Применение функционализированных УНТ (рис. 11) приводит к более равномерному распределению агломератов в полостях между сферолитными образованиями полимера, что предположительно может способствовать увеличению прочности и износостойкости ПКМ.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что проведение химической активации УНТ смесью серной и соляной кислот приводит к разрыхлению агломератов частиц и увеличению концентрации кислорода на УНТ до 4,5 раз, что свидетельствует о закреплении кислородосодержащих групп на поверхности материала.

Экспериментально определено, что применение предварительно активированных нанотрубок позволяет повысить механические свойства композита: предел прочности при растяжении до 10 %, модуль упругости до 25%, твердость до 5 %, при

этом установлено снижение относительного удлинения до 31 %.

Функционализация наполнителя оказывает влияние на трибологические свойства ПКМ и позволяет снизить интенсивность массового изнашивания ПКМ до 2 раз.

Установлено, что применение функционализированных нанотрубок способствует их более равномерному распределению между сферолитными частицами полиетратфторэтилена, что может способствовать увеличению прочности и износостойкости материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркова М.А., Петрова П.Н. Исследование влияния углеродных волокон и технологий получения композитов на свойства полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена // Перспективные материалы. 2020. № 11. С. 59–68. doi: 10.30791/1028-978X-2020-11-59-68.

2. Вершина Г.А., Реут Л.Е. Анализ деформационного поведения фторопласта-4 в условиях силового воздействия // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2016. № 4.С. 23–30.

3. Dhanumalayan E., Joshi G.M. Performance properties and applications of polytetrafluoroethylene (PTFE) – a review // Adv. Compos. Hybrid Mater. 2018. Vol. 1. P. 247–268. doi: 10.1007/s42114-018-0023-8.

4. Разработка технологических приемов управления свойствами композитов на основе политетрафторэтилена, содержащих наномодификаторы / А.А. Охлопкова [и др.] // Вопросы материаловедения. 2013. № 1(73). С. 136–145.

5. Влияние ультразвуковой активации на структурообразование политетрафторэтилена, модифицированного нитридом бора / Д.А. Негров [и др.] // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2017. Т. 1. № 2. С. 57–61.

6. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена / А.А. Охлопкова [и др.] // Российский химический журнал. 2008. Т. 52, № 3. С. 147–152.

7. Исследование полимерных композитов с гибридной матрицей, полученных методом взрывного прессования / Н.А. Адаменко [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2019. № 10(233). С. 48–52.

8. Износостойкость композитов на гибридной матрице СВМПЭ-ПТФЭ: механические и триботехнические свойства матрицы / С.В. Панин [и др.] // Трение и износ. 2015. Т. 36. № 3. С. 325–333.

9. Manufacturing technology of composite materials-principles of modification of polymer composite materials technology based on polytetrafluoroethylene / Panda A. [et al.] // Materials. 2017. Т. 10. №. 4. С. 377. doi: 10.3390/ma10040377.

10. The effect of ultrasonic activation on the formation of polytetrafluoroethylene modified by detonation nanodiamonds / D.A. Negrov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : Mechanical Science and Technology Update. Omsk : Institute of Physics Publishing, 2019. P. 062016. doi: 10.1088/1742-6596/1260/6/062016.

11. Никитина А.В., Охлопкова А.А., Васильев А.П. Исследование влияния наноразмерного нитрида бора на свойства политетрафторэтилена // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 07–11 февраля 2022 года. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. С. 329–333. doi: 10.17084/978-5-7765-1502-6-2022-329.

12. Microstructure and Properties of Polytetrafluoroethylene Composites Modified by Carbon Materials and Aramid Fibers / Zhang F. [et al.] // Coatings. 2020. Vol. 10. No. 11. P. 1103–1123. doi: 10.3390/coatings10111103.

13. Song J., Lei H., Zhao G. Improved mechanical and tribological properties of polytetrafluoroethylene reinforced by carbon nanotubes: A molecular dynamics study // Computational Materials Science. 2019. Vol. 168. P. 131–136. doi: 10.1016/j.commatsci.2019.05.058.

14. Исследование влияния многостенных углеродных нанотрубок на свойства политетрафторэтилена / А.А. Охлопкова [и др.] // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2015. № 5(49). С. 43–50.

15. Functionalization of Carbon Nanotubes in Polystyrene and Properties of Their Composites: A Review / Li Hongfy [et al.] // Polymers 2024. V. 16(6). 770. doi: 10.3390/ polym16060770.

16. Дьячкова Т.П., Ткачев А.Г. Методы функционализации и модифицирования углеродных нанотрубок : монография / Издательский дом «Спектр», 2013. 152 с.

17. Yan S.C., Xue Y.H. Surface wettability, tensile mechanical performance, and tribological behavior of polyimide/polytetrafluoroethylene blends enhanced with hydroxylated multiwalled carbon nanotubes at high relative humidity // Polymer Composites. 2021. V. 42 (9). P. 4517–4532. doi: 10.1002/pc.26165.

18. Негров Д.А., Путинцев В.Ю. Усовершенствование технологии прессования изделий из политетрафторэтилена // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2021. Т. 14, № 5. С. 564–571. doi: 10.17516/1999-494X-0333.

Информация об авторах

Д. А. Негров – доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Материаловедение и технологии материалов» Омского государственного технического университета.

В. Ю. Путинцев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и технологии материалов» Омского государственного технического университета.

Е. В. Князев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и технологии материалов» Омского государственного технического университета.

А. И. Глотов – ассистент кафедры «Материаловедение и технологии материалов» Омского государственного технического университета.

Д. А. Вебер – ассистент кафедры «Материаловедение и технологии материалов» Омского государственного технического университета.

REFERENCES

1. Markova, M.A. & Petrova, P.N. (2020). Investigation of the effect of carbon fibers and composite production technologies on the properties of polymer composite materials based on polytetrafluoroethylene // Perspective materials, (11), 59-68. (In Russ.). doi: 10.30791/1028-978X-2020-11-59-68.

2. Vershina, G.A. & Reut, L.E. (2016). Analysis of the deformation behavior of fluoroplast-4 under conditions of force // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. A series of physical and technical sciences, (4), 23-30. (In Russ.).

3. Dhanumalayan, E. & Joshi, G.M. (2018). Performance properties and applications of polytetrafluoroethylene (PTFE) - a review // Adv. Compos. Hybrid Mater, (1), 247-268. doi: 10.1007/s42114-018-0023-8.

4. Okhlopkova, A.A. [et al.]. (2013). Development of technological methods for controlling the properties of composites based on polytetrafluoroethylene containing nanomodifiers // Questions of materials science, (73). 136-145. (In Russ.).

5. Negrov, D.A. [et al.]. (2017). The effect of ultrasonic activation on the structure formation of polytetrafluoroethylene modified with boron nitride // Omsk Scientific Bulletin. A series of aviation, rocket and power engineering, (2), 57-61.

6. Okhlopkova, A.A. [et al.]. (2008). Polymer composite materials for tribotechnical purposes based on polytetrafluoroethylene // Russian Chemical Journal, (3), 147-152. (In Russ.).

7. Adamenko, N.A. [et al.]. (2019). Investigation of polymer composites with a hybrid matrix obtained by explosive pressing // Proceedings of the Volgograd State Technical University, (10), 48-52. (In Russ.).

8. Panin, S.V. [et al.]. (2015). Wear resistance of composites based on a UHMWPE-PTFE hybrid matrix: mechanical and tribotechnical properties of the matrix // Friction and wear. (3), 325-333. (In Russ.).

9. Panda, A. [et al.]. (2017). Manufacturing technology of composite materials-principles of modification of polymer composite materials technology based on polytetrafluoroethylene // Materials, (4), 377 doi: 10.3390/ma10040377.

10. Negrov, D.A. [et al.]. (2019). The effect of ultrasonic activation on the formation of polytetrafluoroethylene modified by detonation nanodiamonds // Journal of Physics: Conference Series: Mechanical Science and Technology Update. Omsk : Institute of Physics Publishing, 062016. doi: 10.1088/1742-6596/1260/6/062016.

11. Nikitina, A.V., Okhlopkova, A.A. & Vasiliev, A.P. Investigation of the effect of nanoscale boron nitride on the properties of polytetrafluoroethylene. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Komsomolsk-on-Amur, Komsomolsk-on-Amur: Komsomolsk-on-Amur State University. (In Russ.). doi: 10.17084/978-5-7765-1502-6-2022-329.

12. Zhang, F. [et al.]. (2020). Microstructure and Properties of Polytetrafluoroethylene Composites Modified by Carbon Materials and Aramid Fibers // Coatings, (11), 1103-1123. doi: 10.3390/coatings10111103.

13. Song, J. Lei, H. & Zhao, G. (2019). Improved mechanical and tribological properties of polytetrafluoroethylene reinforced by carbon nanotubes: A molecular dynamics study // Computational Materials Science, (168), 131-136. doi: 10.1016/j.commatsci.2019.05.058.

14. Okhlopkova, A.A. [et al.]. (2015). Investigation of the effect of multi-walled carbon nanotubes on the properties of polytetrafluoroethylene // Bulletin of the Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov, (5), 43-50. (In Russ.).

15. Li, Hongfy. (2024). Functionalization of Carbon Nanotubes in Polystyrene and Properties of Their Composites: A Review // Polymers, (6), 770. doi: 10.3390/polym16060770.

16. Dyachkova, T.P. & Tkachev, A.G. (2013). Methods of carbon nanotube functionalization and modification : Monograph. Moscow : Spektr Publishing House. (In Russ.).

17. Yan, S.C. & Xue, Y.H. (2021). Surface wettability, tensile mechanical performance, and tribological behavior of polyimide/polytetrafluoroethylene blends enhanced with hydroxylated multiwalled carbon nanotubes at high relative humidity // Polymer Composites, (9), 4517-4532. doi: 10.1002/PC.26165.

18. Negrov, D.A. & Putintsev, V.Yu. (2021). Improvement of the technology of pressing polytetrafluoroethylene products // Journal of the Siberian Federal University. Series: Engineering and technology, (5), 564-571. doi: 10.17516/1999-494X-0333. (In Russ.).

Information about the authors

D.A. Negrov - Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Materials science and technology of materials, Omsk State Technical University.

V.Yu. Putintsev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Materials science and technology of materials, Omsk State Technical University.

E.V. Knyazev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Materials science and technology of materials, Omsk State Technical University.

A.Ig. Glotov - Assistant of the Department Materials science and technology of materials, Omsk State Technical University.

D.A. Veber - Assistant of the Department Materials science and technology of materials, Omsk State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 257–264.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 257–264.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки).
УДК 620.174
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.041 EDN: ZJWEUB

МЕТОДИКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЛИСТОПРОКАТА ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ СТАЛЕЙ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ

Сафаров Дамир Тамасович [1], Астащенко Владимир Иванович [2], Мухаметзянова Гульнара Фагимовна [3], Соченко Татьяна Владимировна [4]

[1, 2, 3, 4] Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия
[1] safarov-dt@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-8297-4524
[2] astvi-52@mail.ru@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-8141-6021
[3] gulnara-ineka@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-3046-5859
[4] stv09@mail.ru

Аннотация. *Проведен анализ факторов, оказывающих значительное влияние на возникновение дефектов при холодной листовой штамповке ответственных несущих деталей большегрузного автомобиля из стали S550MC. Изменений пределов прочности $\sigma_в$ от 615 до 700 МПа, предела текучести $\sigma_т$ от 530 до 640 МПа. Наличие концентраторов на боковой поверхности листа приводит к уменьшению относительного удлинения δс 28 % до 15–17 %. Анизотропия свойств по листам приводит к изменчивости относительного удлинения до 15 %, предела текучести – до 15 %. Выполнены проектные процедуры разработки требований к образцам для испытания листопроката на трещиностойкость с учетом особенностей листовой штамповки, позволяющие значительно повысить чувствительность образца к образованию трещины. По данным профилографического исследования, кромки в зоне долома установлены диапазоны изменений углов впадин α от 20 ° до 70 °, глубина h концетратора – от 6 до 12 мкм и радиуса R при вершине от 2 до 20 мкм. Разработана проба оценки трещиностойкости с V-образным концентратором напряжений с R = 0,5 мм, α = 55 °, h = 0,8–1,2 мм, повторяющих форму естественным под технологию лезвийной обработки в цеховых условиях. Рассмотрена методика испытаний трехточечным изгибом, показавшая высокую чувствительность образца к возникновению микротрещин на углах изгиба от 70 ° до 95 ° на листопрокате, не дающем возникновение трещин при изгибе без концетратора вплоть до 170 °. Приведены сравнительные результаты испытаний образцов листопроката, склонного к возникновению дефектов холодной листовой штамповки ответственных деталей сложной формы в крупносерийном производстве, угол начала возникновения микротрещин составил 75 °. Развитие трещины до длины 3–5 мм происходит на угле до105 °. У образцов из листопроката, не приводящих к трещинам штамповки, угол возникновения микротрещин 95 ° с развитием трещины до длины 3–5 мм на угле 125 °, что обеспечивает возможность выполнения входного листопроката для оценки его склонности к возникновению трещин холодной листовой штамповки.*

Ключевые слова: *листопрокат, высокопрочная сталь, трещиностойкость, образец, концентратор напряжений, профилограмма, шероховатость.*

Финансирование: *работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторской диссертации и выполнению научно-исследовательских работ (соглашение № 12/2025-ПД-КФУ от 22.12.2025 г.).*

Для цитирования: Методика производственных испытаний листопроката из высокопрочных мелкозернистых сталей на трещиностойкость / Сафаров Д. Т. [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 257–264. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.041. EDN: https://elibrary.ru/ZJWEUB.

Original article

METHOD OF PRODUCTION TESTING OF SHEET METAL FROM HIGH-STRENGTH FINE-GRAINED STEELS FOR CRACK RESISTANCE

Damir T. Safarov [1], Vladimir I. Astashchenko [2], Gulnara F. Mukhametzyanova [3], Tatiana V. Sochenko [4]

[1, 2, 3, 4] Naberezhnye Chelny Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia

© Сафаров Д. Т., Астащенко В. И, Мухаметзянова Г. Ф., Соченко Т. В. 2026

[1] safarov-dt@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-8297-4524
[2] astvi-52@mail.ru @mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-8141-6021
[3] gulnara-ineka@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-3046-5859
[4] stv09@mail.ru

Abstract. *The analysis of factors that have a significant impact on the occurrence of defects during cold stamping of critical load-bearing parts of heavy-duty vehicles made of S550MS steel has been carried out. Changes in tensile strength $\sigma_в$ from 615 to 700 MPa, yield strength $\sigma_т$ from 530 to 640 MPa. The presence of concentrators on the lateral surface of the sheet leads to a decrease in the elongation δ from 28% to 15-17%. The anisotropy of properties across the sheets leads to a variation in elongation of up to 15%, yield strength of up to 15%. Design procedures for developing requirements for samples for testing sheet metal for crack resistance have been completed, taking into account the features of sheet stamping and allowing for a significant increase in the sensitivity of the sample to crack formation. According to the data of the profilographic study of the edge in the dolom zone, ranges of changes in the angles of the depressions α from 20° to 70°, the depth h of the concentrator from 6 to 12 microns and the radius R at the top from 2 to 20 microns have been established. A crack resistance assessment test with a V-shaped stress concentrator with R=0.5 mm, α=55°, h =0.8-1.2 mm, repeating the shape of the blade according to the technology of blade processing in workshop conditions, has been developed. A three-point bending test procedure is considered, which showed a high sensitivity of the sample to the occurrence of microcracks at bending angles from 70° to 95° on a sheet roll that does not cause cracks when bending without a concentrator up to 170°. Comparative test results of sheet metal samples, which are prone to defects in cold forming of complex-shaped critical parts in large-scale production, are presented, the angle of onset of microcracks was 75°. The crack develops to a length of 3-5 mm at an angle of up to 105°. In sheet metal samples that do not lead to stamping cracks, the angle of occurrence of microcracks is 95 ° with the development of a crack to a length of 3-5 mm at an angle of 125 °, which makes it possible to perform an input sheet roll to assess its tendency to cracks in cold sheet stamping.*

Keywords: *rolled sheet, high-strength steel, crack resistance, sample, stress concentrator, profilogram, roughness.*

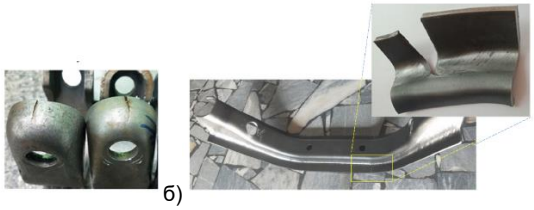
Funding: *The work was carried out at the expense of a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education institutions, scientific and other organizations to support the development of human resources in terms of encouraging their researchers and academic staff to defend their doctoral theses and conduct research (agreement No. 12/2025-PD-KFU dated December 22, 2025).*

For citation: Safarov, D. T., Astashchenko, V. I., Mukhametzyanova, G. F. & Sochenko, T. V. (2026). Method of production testing of sheet metal from high-strength fine-grained steels for crack resistance**.** *Polzunovskiy vestnik*, (1), 257-264. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.041. EDN: https: //elibrary.ru/ZJWEUB.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время применение в автомобилестроении мелкозернистых высокопрочных сталей позволяет снизить металлоемкость ответственных деталей автомобилей до 30 %. Между тем сочетание высокой прочности и невысокой пластичности металла в процессах холодной листовой штамповки деталей сложной конфигурации из различных партий листопроката может приводить к возникновению дефектов продукции в виде трещин в краевой зоне (рис. 1). Листовая штамповка поперечин рамы выполняется на кривошипном прессе в два перехода. Гибка буртов силовых хомутов выполняется в один переход на гидравлическом прессе. Для улучшения качества листовой штамповки деталей различной конфигурации известны различные исследования, которые направлены на снижение дефектности. Распространены исследования, в которых разрабатываются индивидуальные конструкторские усовершенствования. Например, в [1, 2, 3] устранение утяжин в местах изгиба, трещины и складки, а также отклонения размеров выполнено за счет совершенствования конструкции штампов. Известны исследования, направленные на улучшение качества листовой штамповки за счет моделирования условий деформирования металла в процессах листовой штамповки [4, 5, 6].

В [7] для определения закономерностей для моделирования процессов холодной листовой штамповки предлагается выполнять на основе испытаний материала на сдвиг. Имеется ряд работ, направленных на экспериментальное исследование деформаций заготовок путем нанесения на их поверхность разметки и измерения деформаций в интересующих точках детали [8, 9]. Несмотря на достаточно развитые исследования процессов листовой штамповки в литературе практически не рассмотрены вопросы предотвращения дефектности холодной листовой штамповки из высокопрочной стали в условиях крупносерийного производства.



а) б)

Рисунок 1 – Дефекты листовой штамповки несущих ответственных деталей автомобиля: а) силовых хомутов; б) поперечин рамы

Figure 1 – Defects in the sheet stamping of the bearing critical parts of the car: a) power clamps, b) frame crossbars

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Входной контроль листопроката в общем виде включает испытания на соответствие требованиям стандарта [10], а именно:

- контроль химического состава металла листопроката;
- металлографический анализ на степень загрязненности стали неметаллическими включениями, размеру зерна, полосчатости, макро- и микростроению;
- испытания на растяжение для подтверждения механических свойств;
- испытания на трехточечный изгиб для определения наличия трещин при изгибе образца на 180 º в соответствии с требованиями стандарта [11].

Каждую поставку листопроката сопровождает сертификат лаборатории производителя, содержащий данные о его химическом составе и механических свойствах. Как правило, работники служб ОТК проверяют его содержание и, доверяя сертификату поставки, запускают его в производство. Это снижает

затраты лаборатории на текущий контроль. Для проверки данных сертификата осуществляется выборочная проверка проката. Рассмотрим результаты проверки данных сертификата качества поставки листопроката двух плавок листопроката сталей S355MC и S550MC, из которых изготовлены детали, приведенные на рисунке 1.



Рисунок 2 – Образцы после испытаний на трехточечный изгиб

Figure 2 – Samples after three-point bending tests

Для определения массовой доли химических элементов применялся оптико-эмиссионный анализатор CXR-950. Данные по содержанию химических элементов приведены в таблице 1. Установлено, что химический состав листопроката соответствует требованиям стандарта.

Определение механических свойств стали выполнялось на испытательной машине Zwick/Roell Z-100. При растяжении стандартных образцов на этой же машине выполнялись испытания и на изгиб. Результаты исследования механических свойств приведены в таблице 2. Обратим внимание, что на изгибе, согнутых на 160 º стандартных образцов, появление трещин не обнаружено (рис. 2). Диаметр пуансона испытательной машины, согласно нормативным требованиям, составил величину в 7 мм. Видно, что в состоянии поставки листопрокат по механическим свойствам и твердости соответствует требованиям нормативно-технической документации.

Профилографические исследования выполнялись с применением профилографа Mahr M400, цеховые испытания на изгиб выполнялись на испытательной машине В 5.

Таблица 1 – Химический состав плавок листопроката высокопрочных мелкозернистых сталей

Table 1 – The chemical composition of sheet metal melts. high-strength fine-grained steels.

Марка стали	Содержание элементов, масс. Доля %										
	C %	Mn %	Si %	Cr/Ni %	P %	S %	Al %	Nb %	V %	Ti %	Nb+Ti+V%
S355MC	0,06 (≤0,12)	0,63 (≤1,50)	0,03 (≤0,50)	0,037/0,029 (≤0,03)	0,012 (≤0,025)	0,02 (≤0,020)	0,053 (≤0,015)	0,05 (≤0,09)	0,004 (≤0,20)	0,001 (≤0,15)	0,055 (≤0,22)
S550MC	0,105 (≤0,12)	1,46 (≤1,50)	0,03 (≤0,50)	0,014/0,011 (≤0,03)	0,007 (≤0,025)	0,002 (≤0,020)	0,053 (≤0,015)	0,035 (≤0,09)	0,004 (≤0,20)	0,03 (≤0,15)	0,085 (≤0,22)

Таблица 2 – Механические свойства листопрокатанных высокопрочных мелкозернистых сталей.

Table 2 – Mechanical properties of sheet-rolled high-strength fine-grained steels

	σв, МПа	**σт, МПа**	**ε, %**	**Изгиб (на 189°)**	**Твердость (НВ)**
S355MC	502 (430-550)	453 (≥355)	35 (≥23)	Отсутствует (отсутствие трещин)	161 (≤180)
S550MC	666 (430-550)	584 (≥355)	28 (≥23)	Отсутствует (отсутствие трещин)	187 (≤210)

Примечание – в скобках приведены требования по НТД

В результате выполнения металлографического исследования определены следующие структурные показатели металла: феррит, структурно-свободный цементит, имеющий склонность к залеганию в виде сетки, охватывающий не более 1/6 периметра зерен феррита (2А балла) (рис. 3), размер зерна – 9–11 балл (ГОСТ 5639-65), загрязненность по окислам – 1 балл, сульфидам – 1 балл и силикатам – 0,5 балл по ГОСТ 1778-70. Поверхностные дефекты по ГОСТ 21014-2022 – в пределах допуска по EN 10149-2 и ТУ 14-101-809-2010, микротвердость феррита составляет от 165 до 197HV15 и феррито-перлитной смеси (в полосе) – от 200 до 262HV_{15}.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Несмотря на соответствие всех показателей качества металлопроката все же в процессе листовой штамповки отдельных партий металла в местах перегиба возникают трещины. Причиной возникновения трещин является значительная дисперсия показателей в пределах требований стандарта и – особенно – по пластическим свойствам листопроката.

Так, например, предел прочности в партиях листопроката $\sigma_в$ изменяется в пределах от 615 до 700 МПа, предел текучести $\sigma_т$ от 525 до 556 МПа (рис. 4). В отдельных партиях отношение $\sigma_т/\sigma_в$ может принимать неблагоприятные для штамповки значения 0,8–0,9. Как показали исследования, подготовка кромок листовых заготовок влияет на изменение относительного удлинения образцов.

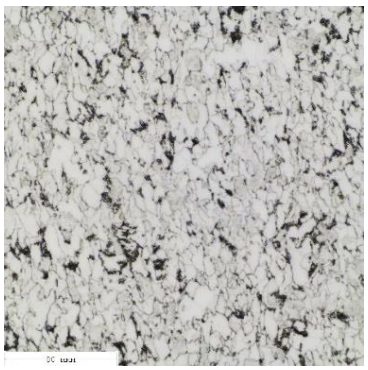


Рисунок 3 – Микроструктура листопроката металла S355 MC (увеличение 500х)

Figure 3 – Microstructure of sheet metal S355 MS (magnification 500x)

На рисунке 5 приведена диаграмма растяжения стандартных образцов, полученных лазерной резкой и путем вырубки на прессе. Снижение шероховатости одновременно с оплавлением кромок образца после лазерной резки приводит к увеличению относительного удлинения стандартных образцов δ на 35–50 %.

Увеличение шероховатости при износе вырубного штампа может приводить к уменьшению относительного удлинения образцов до 35 %. В пределах одного листа партии листопроката относительное удлинение может изменяться на величину до 15% (рис. 6).

Следует отметить, что предприятие-изготовитель деталей не может управлять этими показателями свойств и вынуждено работать с поставленным листопрокатом во всем диапазоне их изменения. Таким образом, возникает необходимость в разработке оперативного метода оценки пригодности листопроката для конкретных условий выполнения различных разделочных операций при изготовлении деталей в крупно-серийном производстве.

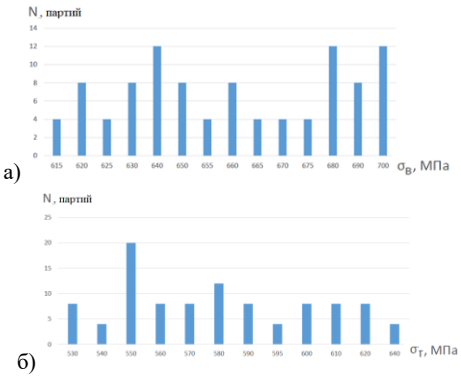


Рисунок 4 – Гистограммы изменения предела прочности $\sigma_в$ и предела текучести $\sigma_т$ в партиях запуска листопроката из стали S550 MC

Figure 4 – Histograms of changes in tensile strength $\sigma_в$ and yield strength σ_t in batches of steel S550 MS sheet metal rolling

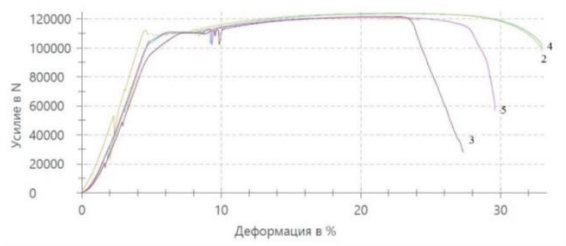


Рисунок 5 – Диаграммы растяжения образцов из сталей S550 MC: 2 и 4 – вырезанных лазером; 3 и 5 – полученные на прессе вырубкой.

Figure 5 – Stretching diagrams of S550 MS steel samples: 2 and 4 – laser-cut; 3 and 5 – obtained by cutting in a press

Широко распространены методы испытаний листопроката на трещиностойкость, которые излагаются как в отечественных, так и зарубежных стандартах, устанавливающих требования к образцам и методикам проведения испытаний [12–15]. Согласно требованиям отечественного стандарта [12], испытания на трещиностойкость выполняется на специально изготовленных образцах при различных видах нагрузки – растяжении и изгибе. Форма концентраторов и их расположение на образцах имитируют различные варианты развития усталостной трещины – при растяжении, растяжении и изгибе, сдвиге и изгибе.

Из перечисленных методов испытаний наиболее простым для реализации в производственных условиях, а также близким к нагрузке в опасных местах возникновения трещин при листовой штамповке выбрано нагружение изгибом.

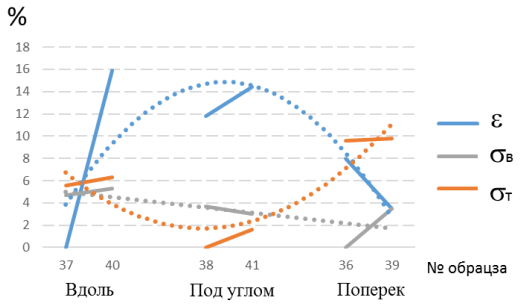


Рисунок 6 – Свойства листопроката из стали S355 MC в различных направлениях (анизотропия)

Figure 6 – Properties of S355 MS steel sheet in various directions (anisotropy)

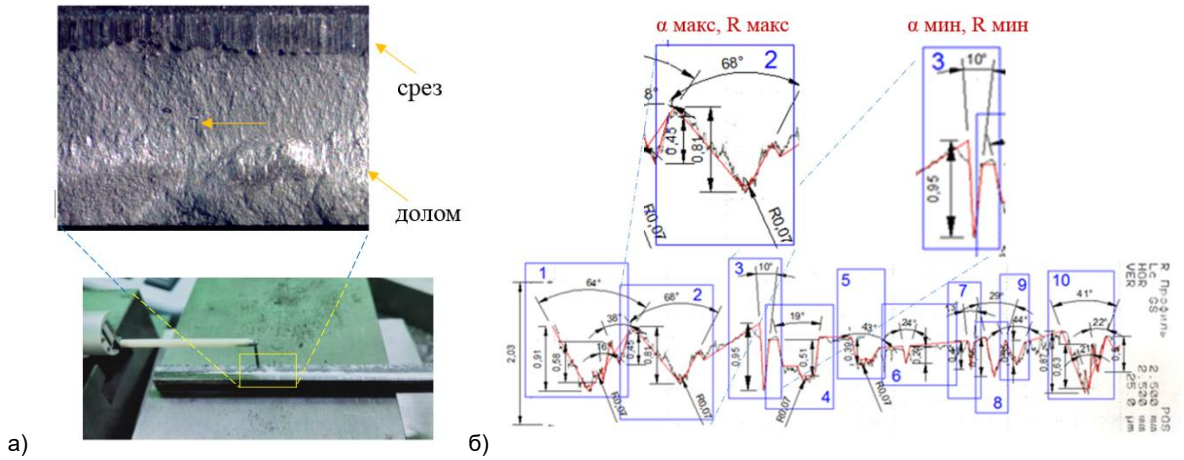
Стандарт [12] предусматривает изготовление плоских образцов толщиной не менее 10 мм для концентраторов напряжений. Целью испытаний стандартным методом является определение предела трещиностойкости металла σ_c, который в дальнейшем необходимо проверять в опасных местах, что невозможно выполнить в действующем производстве. Рассмотрим факторы, не позволяющие внедрить требования стандарта в действующем производстве для предотвращения дефектности изделий.

Исследуемые детали изготавливаются из листопроката толщиной 6 мм, что не соответствует требованиям стандарта изготовления образцов со стандартной формой концентратора напряжений. Кроме того, имеются и дополнительные ограничения (критерии):

- сложность конструктивного исполнения концентратора напряжений требует обработки специальной фасонной фрезой или применение электроэрозионной обработки;
- варьирование параметров конструктивного исполнения концентратора, не учитывающего действительное состояние кромок заготовок детали после их вырубки на штампе или гильотине;
- высокая трудоемкость испытаний и требующая от персонала высокой квалификации (в зависимости от формы диаграммы растяжений необходимо выполнять дополнительные испытания с доломом и измерением величины усталостной трещины) с последующей дополнительной обработкой результатов.

Причем испытательные машины не поддерживают автоматизированный расчет по методикам оценки трещиностойкости. Все эти ограничения поставили задачу адаптации стандартной методики по оценке трещиностойкости листопроката для производственных условий. На первом этапе выполнены работы по исследованию профилей шероховатости поверхности для определения оптимальных параметров концетратора напряжений. Для получения профилограммы из заготовки, близкой к месту возникновения дефектов, вырезаны образцы. На рисунке 7, *а* приведены изломы образцов и процесс регистрации профиля шероховатости и волнистости.

Для регистрации профиля использовался профилограф ф.Mahr 400 со свободным базированием щупа, позволяющий без искажений зарегестрировать действительную форму профиля. На изломе выделено две зоны: зона среза металла под воздействием вырубного штампа, а также зона долома.



а) б)

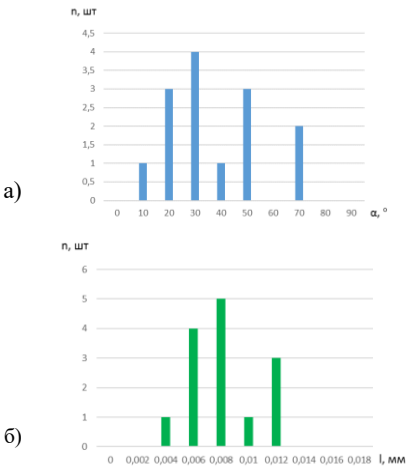
Рисунок 7 – Профилографическое исследование: а) измерение профиля шероховатости; б) профилограмма образца детали с естественными концентраторами напряжений в зоне долома

Figure 7 – Profilographic examination: a) measurement of the roughness profile, b) profilogram of the part sample with natural stress concentrators in the dolom zone

Установлено, что наибольшая шероховатость поверхности характерна для зоны долома. Эта зона содержит критические естественные концентраторы напряжений, приводящие к трещинам в процессе листовой штамповки, поэтому изменение профиля выполнено в этой зоне излома. На рис. 7, *б* приведена профилограмма шероховатости с выделенными на ней естественными концентраторами напряжений в виде V образных впадин с различными геометрическими параметрами. Гистограмма распределения геометрических размеров концентраторов приведена на рисунке 8. Геометрические параметры естественных концентраторов изменяются в широких пределах от 10 ° до 70 ° с значительной глубиной залегания до 0,9 мм. Эти концентраторы являются критическими для зарождения и развития трещины в процессе листовой штамповки.

На профилограмме выделены концентраторы с минимальными (элемент 10) и максимальными (элемент 2) углами, глубиной залегания и радиусом при вершине. Радиус при вершине составляет от 0,03 до 0,1 мм. По найденным критическим значениям естественного концентратора напряжений определены требования к его исполнению в пробе на трещиностойкость.

Следует отметить, что уменьшение угла профиля естественного концентратора напряжений с уменьшением радиуса при вершине и увеличением глубины залегания концентратора значительно увеличивает чувствительность пробы к возникновению трещин при трехточечном изгибе. Однако изготовление искусственного концентратора напряжений с углом при вершине концентратора менее 30 ° технологически оправданы при выполнении обработки на проволочно-эрозионном станке. С учетом ограничений лезвийной обработки для искусственного концентратора напряжений выбран симметричный V образный профиль с минимальным углом в 30 ° и максимальным в 60 °, а также глубиной 0,8 мм. Радиус R при вершине увеличен до 0,5 мм исходя из обеспечения технологичности обработки резанием образцов на участке механической обработки предприятия. Разработанный чертеж образца для проверки на трещиностойкость листопроката приведен на рис. 10.



а)

б)

Рисунок 8 – Гистограммы распределения: а) угловых размеров, б) глубины концентраторов после вырубки заготовок из листового проката вырубным штампом

Figure 8 – Histograms of the distribution of: a) angular dimensions, b) the depth of the concentrators after cutting the blanks from the rolled metal die

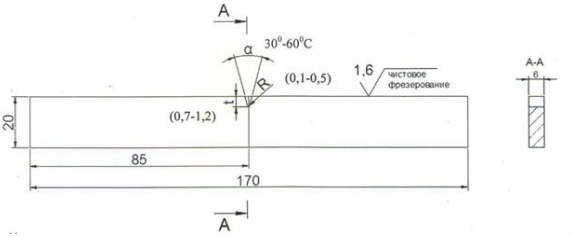


Рисунок 9 – Чертеж образца проверки трещиностойкости листового металла при условиях вырубки на прессе в местах образования трещин штамповки с учетом ограничений лезвийной обработки.

Figure 9 – Drawing of a sample for checking the crack resistance of sheet metal under cutting conditions on a press at the places where the cracks form, taking into account the limitations of blade processing

Для проведения испытаний с применением разработанных образцов они были изготовлены на универсальном оборудовании – горизонтально фрезерном станке мод. 6Т13Ф3-1-УХЛ4 с применением угловой фрезы 1FE2200 Ø63x16x55 с углом при вершине 55 °. Для обеспечения идентичных геометрических параметров концентраторов на образцах они обрабатывались пакетом (рис. 11). На рисунке 12 приведены фотографии обработанного резанием пакета образцов с искусственными концентраторами напряжений. Выполненные измерения геометрических параметров подтвердили их соответствие чертежным значениям (R = 0,48 мм, α = 54°, h = 0,8 мм).

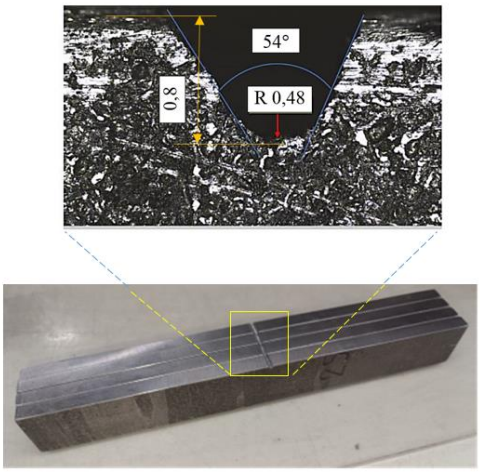


Рисунок 10 – Изготовленные образцы для испытаний на трещиностойкость партии листопроката

Figure 10 – Manufactured samples from, for testing for crack resistance of a batch of sheet metal

На рисунке 11 приведена схема измерений и фотографии цеховых испытаний образца трехточечным изгибом с искусственным концентратором напряжений.

Угол изгиба образца рассчитывается в соответствии с [16] по следующей формуле:

$$\alpha = 2 * \arccos\left(\frac{Wc - c(f-c)}{p^2 + (f-c)^2}\right),$$

где f – перемещение пуансона, мм;

c – расстояние от центра отверстия до центра пуансона, мм

$$W = (p^2 + (f-c)^2 - c^2)$$

где p – расстояние от центра ролика до центра пуансона, мм

$$c = 25 + a + \frac{D}{2},$$

где a – толщина листа, мм;

D – диаметр ролика, мм

Диаметр роликов D у специального приспособления 50 мм, толщина t листопроката 6 мм, расстояние между центрами роликов 70 мм. В процессе испытаний использовались образцы, выполненные в соответствии с чертежом (рис. 11) – длина образца с искусственным концентратором 170, ширина 20 мм.

В таблице 3 приведены результаты испытаний листопроката высокопрочной стали S550MC на трещиностойкость.

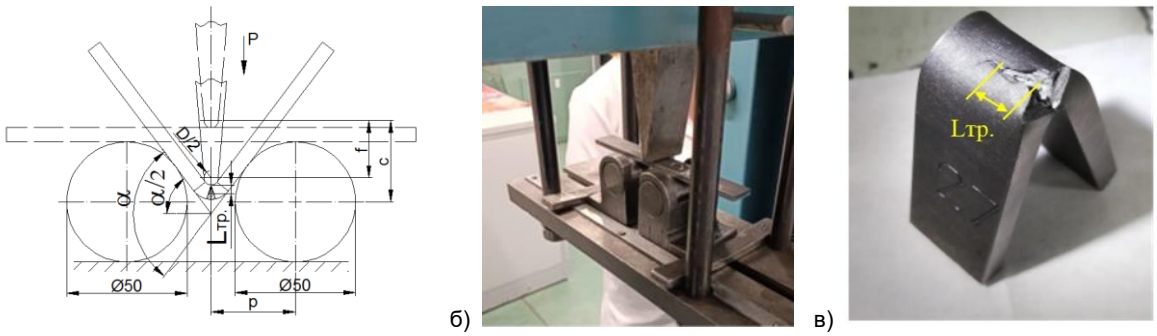
ОБСУЖДЕНИЕ

Принципиальным для обеспечения чувствительности образцов к возникновению трещин является диаметр пуансона испытательной машины. Он должен быть не меньше толщины листа (не менее 6 мм). Увеличение диаметра пуансона до 7 мм и более приводит к резкому уменьшению чувствительности пробы к появлению трещин.

Таблица 3 – Углы образования трещин в месте искусственного концентратора напряжений

Table 3 – Angles of crack formation at the site of the artificial stress concentrator

Партия листопроката, приводящая к трещинам штамповки	№	Углы	Длина трещины, мм				
			Микротрещины	1,0	2,0	3,0	4,0
Часто	1	изгиба образца	76	101	102	105	105
Редко	2		90	102	107	112	120
Не приводящая	3		95	120	122	124	125



а) б) в)

Рисунок 11 – Испытания образцов на проверку трещиностойкости листопроката а) схема расчета угла изгиба; б) испытание образца; в) образец с трещиной при изгибе на 130 °

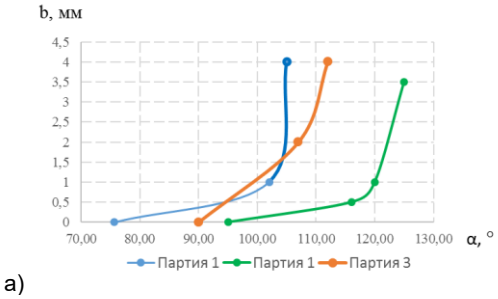
Figure 11 – Testing of samples to check the crack resistance of a rolled sheet: a) a scheme for calculating the bending angle, b) a sample test, c) a sample with a 130 degree bend crack

В результате на образце в месте концентратора напряжений образуется видимая трещина, длину которой регистрируют в процессе проведения испытаний разработанного образца. Образцы можно испытывать различными способами – в процессе изгиба одновременно регистрировать рост трещины и длину перемещении пуансона.

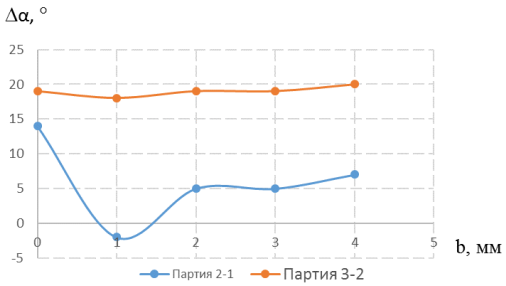
В этом случае для испытаний нужно меньшее количество образцов для проведения испытаний. Другим способом является испытание образцов на заранее известные углы, определенные из данных испытаний. Для испытаний образцов этим методом нужно большее количество изготовленных образцов.

На рисунке 12 приведены графики развития трещины в месте нанесения искусственного концентратора партий листопроката, приводящего к различной вероятности возникновения трещин холодной листовой штамповки детали поперечины рамы, относящейся к деталям сложной конфигурации. У образца, изготовленного из листопроката, приводящего к трещинам штамповки, характерно возникновение микротрещин при угле сгиба образца 70–80 º и углу изгиба до 105 º.

У образцов, изготовленных из листопрокта, приводящиго к редким трещинам, характеризуется возникновением микротрещин при угле сгиба образца 80 –90 º и развитием трещины на угле изгиба до 110 º. У образцов, изготовленных из листопроката, не приводящего к трещинам, трещины и микротрещины возникают в интервале 90–96 º и развиваются до более значимых на угле до 130–140 º. Запас по углу изгиба образца, выявляющего различие пластичности материала, составляет от 10 до 15 º, что достаточно для сортировки различных партий листопроката по склонности возникновения трещин.



а)



б)

Рисунок 12 – Изготовленные образцы для испытаний на проверку трещиностойкости партии листопроката

Figure 12 – Manufactured samples for testing the crack resistance of a batch of sheet metal

Результаты испытаний установили факт достаточной чувствительности образца к возникновению трещин. Таким образом, испытания образцов позволяют оценить степень пластичности листопроката для обеспечения бездефектной холодной листовой штамповки деталей из высокопрочной стали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / ВЫВОДЫ

1. Качество деталей, изготавливаемых из высокопрочных сталей методом холодной листовой штамповки, зависит от состояния кромок используемых заготовок. Образование разрывов металла на поверхности деталей связано с присутствием на кромках заготовок дефектов в виде выступов и глубоких впадин, унаследованных от разделительных операций листопроката.

2. Выполнены профилографические исследования кромок образцов, вырубленных на прессе, и определены параметры искусственного концентратора напряжений, имитирующего при изгибе условия штамповки нагруженной зоны. С учетом технологии обработки приемлемы следующие номинальные показатели точности R = 0,5 мм, α = 55 º, h = 0,8 мм.

3. При испытании на изгиб стандартных образцов, изготовленных из высокопрочной мелкозернистой стали S550MC, в состоянии поставки не обнаружены склонности к трещинообразованию вплоть до ее изгиба до 180 º. Разработаннаый образец проверки трещиностойкости листопоката с V образным концентратором с показателями геометрической точности (R = 0,48 мм, α = 54 º, h = 0,8 мм) по сравнению со стандартной пробой проверки листопроката на изгиб значительно более чувствительна к образованию трещин, что важно для интегральной оценки его свойств для оценки штампуемости листопроката при выполнении различных операций листовой штамповки.

4. Изготовленные и испытанные образцы проверки листопроката, вызывающего дефекты штамповки в виде трещин при диаметре пуансона, равным толщине проката в 6 мм, показали следующие результаты: средний угол образования микротрещин в 95 º, максимальный угол образования трещин величиной до 2 мм 108 º .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рихтер П.Е, Нестеренко Е.С. Повышение качества деталей П-образного вида, получаемых методом холодной листовой штамповки / Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. Вып. 5. С. 282–286.

2. Летунов А.В., Нестеренко Е.С. Повышение качества деталей типа «стаканчик», получаемых методом холодной листовой штамповки / Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. Вып. 5. С. 263–266.

3. Бровман Т.В., Шильников С.С., Горященко А.Б. Оптимизация технологических параметров листовой штамповки / The scientific heritage 2020. № 44. С. 43–45.

4. Определение граничных условий конечно-элементного моделирования процесса холодной листовой штамповки / Ф.А. Столяров, И.Г. Гун, А.Р. Вахитов [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. 2023. Т. 21. № 2. С. 90–95.

5. Численное моделирование многоэтапных процессов холодной листовой штамповки тонкостенного сосуда и их оценка с точки зрения предельных деформаций / И.Э. Келлер, А.В. Казанцев, А.А. Адамов [и др.] // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2021. № 2. С. 48–60.

6. Вобликов Г.А. Анализ температур при пластическом формоизменении листового металла // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 2. С. 312–314.

7. Власов А.В. Использование опытов на сдвиг для построения кривых упрочнения листовых материалов / А.В. Власов, А.А. Шитиков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 4(661). С. 79–88.

8. Адамов А.А. Экспериментальная идентификация законов пластичности и разрушения анизотропной малоуглеродистой листовой стали для моделирования холодной штамповки / А.А. Адамов, И.Э. Келлер, Д.С. Петухов // Проблемы прочности и пластичности. 2019. Т. 81. № 2. С. 202–211.

9. Инновационные механические испытания металла, подвергаемого технологическому деформированию и термической обработке : монография / Р.Е. Глинер [и др.] ; НГТУ им Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2016. 124 с.

10. EN 10149-1 Прокат плоский горячий из стали с высоким пределом текучести для формоизменения в холодном состоянии. Горячекатаный плоский прокат из высокопрочных сталей для холодной штамповки ; Часть 2: Технические условия поставки для термомеханически прокатанных сталей.

11. ГОСТ 14019-2003 Материалы металлические. Метод испытания на изгиб. М. : Изд-во стандартов, 6 с.

12. ГОСТ 25.506-85. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 61 с.

13. ASTM E 399-05. Standard test method for linearelastic plane-stain fracture toughness K1c of metallic material. Annual book of ASTM standards. Volume 03.01.2005. 32 p.

14. РД 50-260-81. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик вязкости разрушения (трещиностойкости) при статическом нагружении. М. : Изд-во стандартов, 1982. 56 с.

15. Швечков Е.И. Анализ российских и зарубежных методов испытаний на статическую трещиностойкость авиационных материалов / Технология легких сплавов. 2016. № 1. С. 99–106.

16. ГОСТ Р ИСО 7438-2013 Материалы металлические. Испытание на изгиб. Москва : Стандартинформ, 2014. С. 9.

Информация об авторах

Д. Т. Сафаров – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета.

В. И. Астащенко – доктор технических наук, профессор кафедры «Материалов, технологий и качества» Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета.

Г. Ф. Мухаметзянова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалов, технологий и качества» Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета.

Т. В. Соченко – аспирант кафедры «Материалов, технологий и качества» Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета.

Information about the authors

D.T. Safarov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Technological Support of Machine-building Industries, Naberezhnye Chelny Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University.

V.I. Astashchenko - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Materials, Technologies and Quality of Naberezhnye Chelny Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University named after .

G.F. Mukhametzyanova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Materials, Technologies and Quality, Naberezhnye Chelny Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University.

T.V. Sochenko - Postgraduate student of the Department of Materials, Technologies and Quality of the Naberezhninsky Institute (branch) Kazan (Volga Region) Federal University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 265–269.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 265–269.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки).
УДК 620.21; 675.8
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.042 EDN: KZQISK

ПЕРЕРАБОТКА КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОКАТАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Дарья Константиновна Низамова [1], Гульназ Раисовна Рахматуллина [2], Евгения Александровна Панкова [3], Римма Рашитовна Шагивалиева [4], Гузель Ильгизаровна Гарипова [5], Марина Михайловна Гребенщикова [6]

[1, 2, 3, 4, 5, 6] ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, Россия
[1] nizamova.darya.93@mail.ru,https://orcid.org/0000-0002-3114-6788
[2] gulnaz-f@yandex.ru,https://orcid.org/0009-0000-2475-5174
[3] pankovaja@mail.ru,https://orcid.org/0009-0009-7420-1191
[4] shagivalieva@kstu.ruhttps://orcid.org/0009-0008-1753-4304
[5] fusion478@mail.ru,https://orcid.org/0000-0002-8432-2044
[6] grebenschikova.marina@yandex.ru,https://orcid.org/0000-0002-5237-4528

Аннотация. *Исследование возможности получения коллагенсодержащего сырья актуально и направлено на расширение областей применения полимерных материалов природного происхождения, повышения их качества и получение новых материалов с заданными свойствами. В работе исследована возможность применения ферментных препаратов для переработки коллагенсодержащего сырья на основе шкур курицы. Проведена оценка способности сырья к диффузии, на основе результатов физико-механических испытаний и определения размера пор экспериментально установлена эффективность ферментной обработки комплексными ферментными препаратами «Протосубтилин Г3х» на этапе отмочно-зольных процессов и операций выделки сырья из шкурок куриц в сравнении с другими рецептурами.*

Ключевые слова: *биополимеры, коллаген, шкурки курицы, ферментные препараты, разволокнение, Протосубтилин Г3х, галантерейная кожа.*

Благодарности: *Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ (Соглашение №10/2025-ПД-КНИТУ от 22.12.2025).*

Для цитирования: Переработка коллагенсодержащего сырья с применением биокаталитических методов / Низамова Д. К. [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 265–269. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.042. EDN: https://elibrary.ru/KZQISK.

Original article

PROCESSING OF COLLAGEN-CONTAINING RAW MATERIALS USING BIOCATALYTIC METHODS

Darya K. Nizamova [1], Gulnaz R. Rakhmatullina [2], Evgenia A. Pankova [3], Rimma R. Shagivalieva [4], Guzel I. Garipova [5], Marina M. Grebenshchikova [6]

[1, 2, 3, 4, 5, 6] FSBEU HE «Kazan national research technological university», Kazan, Russia

[1] nizamova.darya.93@mail.ru,https://orcid.org/0000-0002-3114-6788
[2] gulnaz-f@yandex.ru,https://orcid.org/0009-0000-2475-5174
[3] pankovaja@mail.ru,https://orcid.org/0009-0009-7420-1191
[4] shagivalieva@kstu.ruhttps://orcid.org/0009-0008-1753-4304
[5] fusion478@mail.ru,https://orcid.org/0000-0002-8432-2044
[6] grebenschikova.marina@yandex.ru,https://orcid.org/0000-0002-5237-4528

Abstract. *The study of the possibility of obtaining collagen-containing raw materials is relevant and aimed at expanding the areas of application of polymeric materials of natural origin, improving their quality and obtaining new materials with desired properties. The paper investigates the possibility of using enzyme preparations for processing collagen-containing raw materials based on chicken skins. The ability of the raw materials to diffuse was assessed, and based on the results of physical and mechanical tests and determination of the pore size, the effectiveness of enzyme*

© Низамова Д. К., Рахматуллина Г. Р., Панкова Е. А., Шагивалиева Р. Р., Гарипова Г. И., Гребенщикова М. М., 2026

treatment with complex enzyme preparations "Protosubtilin G3x" at the stage of soaking and ash processes and operations for dressing raw materials from chicken skins was experimentally established in comparison with other formulations.

Keywords: *collagen, chicken skins, enzyme preparations, fibering, Protosubtilin G3x, leather.*

Acknowledgments: *This work was supported by a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education institutions, scientific and other organizations to support plans for the development of human resources in terms of stimulating their scientific and teaching staff to defend doctoral dissertations and carry out research work (Agreement No. 10/2025-PD-KNITU dated December 22, 2025).*

For citation: Nizamova, D. K. [et al.]. (2026). Processing of collagen-containing raw materials using biocatalytic methods. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 265-269. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.042. EDN: https://elibrary.ru/KZQISK.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, наравне с синтетическими и искусственными полимерами, человек продолжает активно использовать и совершенствовать материалы и продукцию на основе природных полимеров, в том числе коллаген, расширяя сферы его применения. Коллагенсодержащее сырье используется для получения широкого спектра пищевой, медицинской, технической и агропродукции [1–3]. Это кожа и мех, желатин, клей, пищевые оболочки и пленки, а также продукция медицинского назначения – шовный материал, протезно-ортопедические изделия и т.д. С развитием техники и технологий развиваются и технологии переработки и модификации природных полимеров: повышается качество продукции, методы модификации позволяют получать новые материалы с заданными свойствами. увеличивается эффективность использования сырья, снижается количество отходов и выбросов, осуществляется интенсификация технологических процессов и т.д.

Применение современных технологий позволяет превратить природные полимеры в уникальные материалы различного назначения, с новыми и улучшенными свойствами [4, 5]. Традиционным сырьем для кожевенной отрасли являются шкуры крупного рогатого скота (КРС), мелкого рогатого скота (МРС), свиней, лошадей и т.д. Следует отметить, что содержание коллагена в шкурах различных биологических объектов варьируется в широких пределах (таблица 1) [6]. В таблице 1 наряду с широко используемыми видами сырья (морские млекопитающие, КРС, свиньи) представлены и нетрадиционные виды: шкурки цыплят и шкуры рыб. В настоящее время учёные пристально изучают возможности переработки данных видов коллагенсодержащего сырья с целью выделения его белковых компонентов, поскольку основой дермального слоя шкурки куриц и рыб также является белок коллаген [6]. Однако строение и характеристики шкурок цыплят в силу своих особенностей отличаются от строения традиционных кожевенных материалов.

Таблица 1 – Содержание коллагена в шкурах животных / Table 1 – Collagen content in animal skins

Наименование биологического объекта	Содержание коллагена, %
Шкура морских млекопитающих	свыше 80
Шкура КРС	80
Шкура свиньи	64
Шкурка цыплят бройлеров	21
Шкура рыб	от 2 до 12,6

Целью работы являлась оценка возможности переработки коллагенсодержащего сырья шкурок курицы для получения галантерейных кож.

Изучены объёмы сырьевой базы и проведена оценка особенностей строения сырья из шкурок курицы [7]. Отметим, что птицеводство является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей.

Согласно данным ФГБУ «Центр Агроаналитики», Россия занимает 5 место среди мировых производителей мяса бройлеров, объем выращивания составляет порядка 4 800 млн. тонн мяса в год.

МЕТОДЫ

Принимая во внимание значительную зажиренность шкурок куриц в качестве базовой технологии производства галантерейных кож, взята технология получения кож из шкур овчин. Производство кожевенного полуфабриката заключается в последовательном проведении блоков отмочно-зольных, преддубильных, дубильных процессов и операций. Проведены экспериментальные исследования по адаптированию отмочно-зольных и преддубильных процессов и операций существующих технологий выделки галантерейных кож к новому виду сырья, для этого группы контрольных и опытных образцов из шкурок курицы формировались по методу половинок. Для оценки сырья использовались органолептические и лабораторные методы. Оценка температуры сваривания проводилась по стандартной методике согласно ГОСТ 938.25-73. Для оценки диффузионных процессов проводили окрашивание шкурок, глубину окраса проверяли по микрофотографиям срезов дермы с использованием конфокального лазерного сканирующего микроскопа OlympusLEXT 4100, образцы перед исследованием микротомировали.

В работе рассмотрены ферментные препараты с различной активностью: липаза (1 рецептура), коллагеназа (2 рецептура) и комплексный ферментный препарат с протеолитической, эстеразной, амилазной и эластазной активностью «Протосубтилин ГЗх» (3 рецептура). Ферментативную отмоку шкурок курицы проводили при температуре 35–38 ºС, жидкостном коэффициенте 2 в течение 30 минут, с добавлением НПАВ. Контрольный образец обрабатывался параллельно без участия ферментного компонента (4 рецептура).

Для оценки эффективности процесса ферментативной отмоки, проведённой по четырём рецептурам, применяли газо-жидкостной порометр «Porolux™100» и специальную жидкость «Porefil» при этом оценивали поток газа, проходящего через образец.

Для оценки физико-механических свойств материалов проводили исследование прочностных характеристик на разрывной машине Shimadzu.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первоначальное проведение цикла отмочно-зольных и преддубильных процессов и операций в соответствии с базовой технологией [9] продемонстрировало их низкую эффективность. Для выявления причин, приведших к неудовлетворительному результату, проведена органолептическая и лабораторная оценка сырья из шкурок курицы. Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о затруднении диффузии рабочих растворов во внутренние слои дермы. Для наглядного подтверждения факта затрудненной диффузии проведена обработка сырья из шкурок курицы окрашивающим раствором с целью оценки глубины прокраса сырья при помощи микроскопа (рисунок 1).

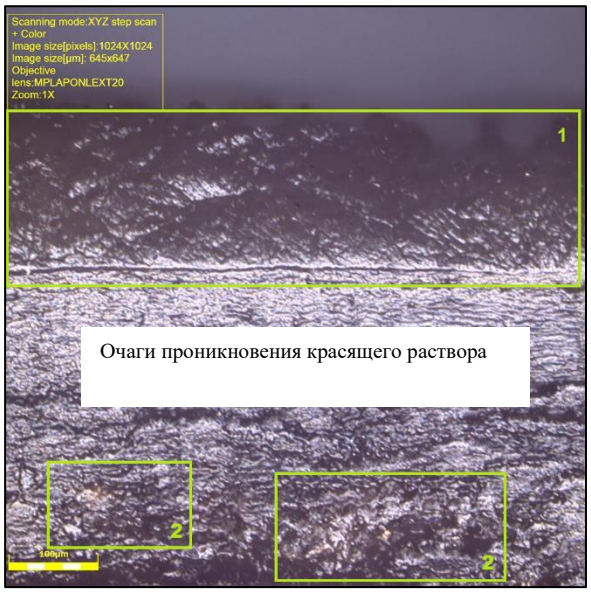


Рисунок 1 – Срез образца шкурки курицы (увеличение 20 крат), где 1 – подкожно-жировой слой; 2 – области окрашивания

Figure 1 – Section of a chicken skin sample (20x magnification), where 1 is the subcutaneous fat layer, 2 is the staining area

Из рисунка 1 видно, что наблюдается лишь очаговое проникновение красящего раствора со стороны эпидермиса через перьевые фолликулы, а со стороны бахтармы наличие подкожно-жирового слоя лимитирует диффузионные процессы. Действительно, сильно развитая подкожная соединительная ткань является неотъемлемой частью тонкого кожного покрова курицы, именно она обеспечивает его подвижность. В ходе съёма шкурки подкожная соединительная ткань остаётся со стороны бахтармы и именно тут располагается жир, но в отличие от млекопитающих, у птиц он откладывается в виде одной большой капли, заполняющей всю цитоплазму [10]. Данный факт объясняет низкую эффективность эмульсионного метода обезжиривания в случае обработки сырья из шкурок куриц. Также следует отметить, что в шкурках курицы подкожная соединительная ткань крепится к дерме при помощи тонкой мембраны, состоящей из эластиновых волокон.

Таким образом, для качественной диффузии рабочих растворов первостепенной задачей является определение возможности гидролиза подкожной соединительной ткани и эластиновой мембраны в ходе процесса отмоки сырья из шкурок курицы, для чего использовались ферментные препараты с разной активностью: липаза (1 рецептура), коллагеназа (2 рецептура) и комплексный ферментный препарат с протеолитической, эстеразной, амилазной и эластазной активностью «Протосубтилин ГЗх» (3 рецептура).

Процесс ферментативной отмоки направлен прежде всего на увеличение проницаемости сырья шкурки куриц за счёт частичного гидролиза ряда компонентов (подкожная соединительная ткань, эластиновая мембрана, межволоконное вещество, капсулированный жир) в зависимости от природы применяемого реагента. Эффективность работы ферментов на этапе отмоки оценили по газовой проницаемости пор. Сравнительная оценка полученных результатов показала, что наибольший показатель газовой проницаемости у образца, обработанного по третьей рецептуре, т.е. с применением комплексного ферментного препарата «Протосубтилин ГЗх».

Повышение проницаемости, т.е. разделение структуры материала, подтверждается и изменением показателя температуры сваривания в результате проведения ферментативной отмоки (рисунок 2). Максимальное снижение показателя температуры сваривания на 4,5 % продемонстрировал образец, обработанный по третьей рецептуре.

Таким образом, применение комплексного ферментного препарата «Протосубтилин ГЗх» обеспечивает образцам сырья из шкурок куриц наилучшую проницаемость и может быть рекомендован к применению в процессе отмоки для данного вида сырья.

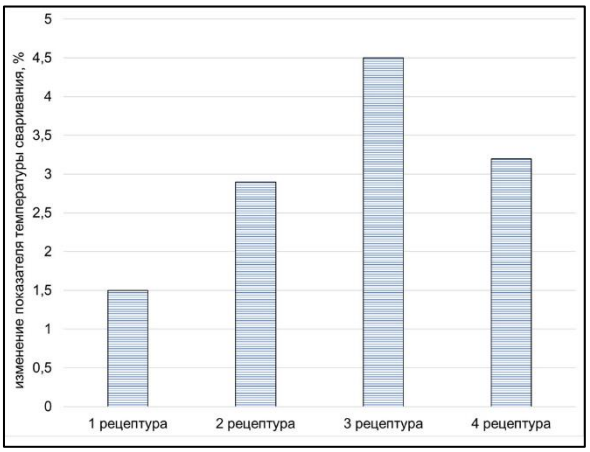
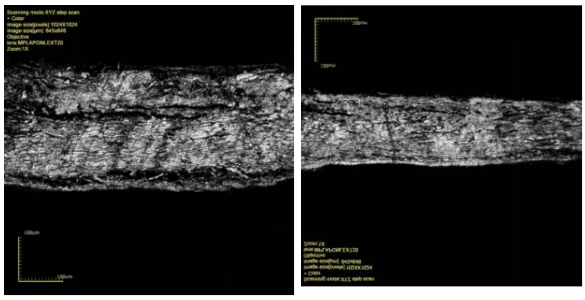


Рисунок 2 – Изменение показателя температуры сваривания образцов шкурок куриц в результате проведения ферментативной отмоки

Figure 2 – Change in the welding temperature of chicken skin samples as a result of enzymatic soaking

В соответствии с базовой технологией выработки галантерейной кожи следующим этапом обработки является комплекс процессов золение–обеззоливание. Этот этап очень важен, так как обеспечивает глубокое разделение структурных элементов дермы. Однако проведенные исследования показали, что у образцов шкурок куриц, прошедших золение–обеззоливание ухудшаются физико-механические показатели: прочность снижается на 25 %, а относительное удлинение уменьшается в 2 раза. Причём выявленные закономерности характерны для всех образцов,

независимо от рецептуры отмочной ванны. Вероятно, полученный негативный эффект связан с особенностями структуры шкурок куриц, а именно параллельным расположением коллагеновых волокон (рисунок 3).

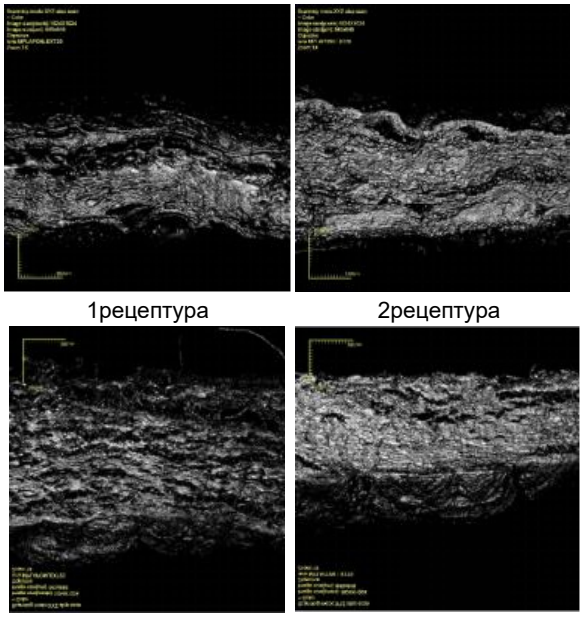


а) б)

Рисунок 3 – Микрофотографии срезов дермы шкурок курицы (увеличение 20 крат):
а) с золением; б) без золения

Figure 3 – Micrographs of sections of chicken skin dermis (magnification 20x):
a) with liming; b) without liming.

Принимая во внимание полученные результаты и учитывая структурные особенности строения шкурок куриц в технологии производства кож из данного вида сырья, проведение комплекса процессов «золение–обеззоливание» исключается.



1рецептура 2рецептура

3 рецептура 4 рецептура

Рисунок 4 – Микрофотографии срезов образцов кожи из шкурок курицы, выработанных по различным рецептурам (увеличение 20 крат)

Figure 4 – Micrographs of sections of skin samples from chicken skins produced using different recipes (magnification 20x)

Далее согласно традиционной технологии производства кож следует пикелевание. Экспериментальные исследования подтвердили целесообразность данного процесса при низкой концентрации муравьиной кислоты (0,75 %), расходе соли 0,8 г/дм^3, продолжительности процесса 30 мин, при жидкостном коэффициенте 0,8 и температуре 20 ºС. Соблюдение рекомендованных параметров позволяет максимально эффективно разделить структуру без ущерба механическим показателям готового материала и подготовить шкурки курицы к дальнейшему мездрению. Как и предполагалось, последовательное выполнение ферментативной отмоки и последующего пикелевания позволяет максимально эффективно удалить подкожный слой вместе с капсулированным жиром. При этом наилучший результат показал образец, обработанный по 3 рецептуре («Протосубтилин Г3х»). Микрофотографии срезов полученных образцов кожи из шкур курицы представлены на рисунке 4.

Физико-механические характеристики коллагенсодержащего материала представлены в таблице 2

Таблица 2 – Физико-механические характеристики коллагенсодержащего материала

Table 2 – Physical and mechanical characteristics of collagen-containing material

Характеристики материала	Рецептура			
	1	2	3	4
Предел прочности при растяжении, МПа	5,0	5,0	7,0	6,0
Удлинение при напряжении 10 МПа, %	27,0	47,0	58,0	55,0
Размер пор (доминирующие поры), мкм	0,56	0,58	0,84	0,61

Из таблицы 2 видно, что наилучшие физико-механические характеристики коллагенсодержащего материала наблюдаются у образцов, полученных по 3 рецептуре вследствие эффективного гидролиза не коллагенсодержащей составляющей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показана возможность и доказана высокая эффективность комплексных ферментных препаратов на этапе отмочно-зольных процессов и операций выделки сырья из шкурок куриц. Установлено, что применение комплексного ферментного препарата «Протосубтилин Г3х» позволяет нормализовать диффузионную составляющую жидкостных процессов и обеспечить чистое мездрение шкурок за счёт частичного гидролиза подкожной соединительной ткани, эластиновой мембраны и межволоконного вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Омелько Н.А., Семенихина Н.М., Егорова Л.С. Получение коллагена для использования в регенеративной медицине // Труды молодых ученых Алтайского государственного университета. 2021. № 18. С. 172–174.

2. Выбор коллагенсодержащего сырья и методов модификации соединительных тканей с целью получения коллагена / Л.В. Антипова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 1. С. 43–46.

3. Marine origin collagens and its potential applications / T.H. Silva, J. Moreira-Silva [et al.] // Marine Drugs. 2014. Vol. 12, No. 12. P. 5881–5901. DOI: 10.3390/md12125881.

4. Кадиров Т.Ж., Худанов У.О. Модифицированный коллаген с антисептическими свойствами: синтез, морфология и перспективы использования // Инновационные технологии: кожа, мех, химические материалы, производство : сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. Москва : Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). 2024. С. 14–17.

5. Гребенщикова М.М., Зиннатуллина Л.Р., Лиганов А.А. Экспериментальное установление изменения структуры натуральных коллагенсодержащих материалов в зависимости от плазменной модификации // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19, № 21. С. 96–99.

6. Антипова Л.В., Сторублевцев С.А. Коллагены: источники, свойства, применение / Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2014. 522 с.

7. Исследование структурных особенностей коллагенсодержащих материалов с различной степенью зрелости Рахматуллина Г.Р. [и др.] // Вестник технологического университета. 2024. Т. 27. В. 12. С.170–174.

8. Цындрина Ю. Рынок мяса птицы: тенденции и возможности для развития // Животноводство России. 2024. № S3. С. 2–4.

9. Островская А.В., Лутфуллина Г.Г., Абдуллин И.Ш. Химия и технология кожи и меха: теоретические основы. ООО «Издательство ЮРАЙТ». 2017. 162 с.

10. Якименко Л.Л., Сельманович Л.А., Волосевич Д.П. Анатомия животных. Особенности анатомического строения птиц : учеб.-метод. пособие для студентов по специальностям «Ветеринарная медицина», «Ветеринарная санитария и экспертиза» и слушателей ФПК и ПК / Витебск : ВГАВМ, 2023. 44 с.

Информация об авторах

Д. К. Низамова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Плазмохимические технологии наноматериалов и покрытий» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Г. Р. Рахматуллина – доктор технических наук, профессор кафедры «Плазмохимические технологии наноматериалов и покрытий» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Е. А. Панкова – доктор технических наук, профессор кафедры «Плазмохимические технологии наноматериалов и покрытий» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Р. Р. Шагивалиева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Плазмохимические технологии наноматериалов и покрытий» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Г. И. Гарипова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование одежды и обуви» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

М. М. Гребенщикова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Плазмохимические технологии наноматериалов и покрытий» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет.

REFERENCES

1. Omel'ko, N.A., Semenihina, N.M. & Egorova, L.S. (2021). Obtaining collagen for use in regenerative medicine // *Works of young scientists of the Altai State University*. № 18. С. 172–174. (In Russ.)

2. Antipova, L.V., Storublevcev, S.A., Grebenshchikov, A.V. & Bolgova, S.B. Selection of collagen-containing raw materials and methods of modification of connective tissues for the purpose of obtaining collagen. (2016). *Storage and processing of agricultural raw materials*. № 1. С. 43–46. (In Russ.).

3. Silva, T.H., Moreira-Silva, J. & Marques, A.L.P. Marine origin collagens and its potential applications. (2014). *Marine Drugs.* Vol. 12, No. 12. P. 5881-5901. DOI: 10.3390/md12125881.

4. Kadirov, T.ZH. & Hudanov, U.O. Modified collagen with antiseptic properties: synthesis, morphology and prospects of use. *Innovative technologies: leather, fur, chemical materials, production: Collection of scientific papers of the II International scientific and practical conference. Moscow : Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art)*. (In Russ.).

5. Grebenshchikova, M.M., Zinnatullina, L.R. & Liganov, A.A. Experimental determination of changes in the structure of natural collagen-containing materials depending on plasma modification. (2016.) // *Bulletin of the Technological University*. Т. 19, № 21. С. 96-99. (In Russ.).

6. Antipova, L.V. & Storublevcev, S.A. Collagens: sources, properties, applications. (2014). *Voronezh : Voronezh State University of Engineering Technologies*. 522 с. (In Russ.).

7. Rahmatullina, G.R., Pankova, E.A., Tihonova, V.P., Nizamova, D.K., CHapaeva, L.V. & Urusova, D.A. (2024). Study of structural features of collagen-containing materials with different degrees of maturity. *Bulletin of the Technological University*. Т. 27. V. 12. P. 170-174. (In Russ.).

8. Cyndrina, YU. Poultry meat market: trends and development opportunities. (2024). // *Animal husbandry of Russia*. № S3. P. 2-4. (In Russ.).

9. Ostrovskaya, A.V., Lutfullina, G.G. & Abdullin, I.SH. *Chemistry and technology of leather and fur: theoretical foundations.* OOO «Izdatel'stvo YURAJT». 2017. 162 s. (In Russ.).

10. YAkimenko, L.L., Sel'manovich, L.A. & Volosevich, D.P. *Animal anatomy. Features of the anatomical structure of birds.Teaching aid*. Vitebsk : VGAVM, 2023. 44 s. (In Russ.).

Information about the authors

D.K. Nizamova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Plasma-chemical Technologies of Nanomaterials and Coatings, Kazan National Re-search Technological University.

G.R. Rakhmatullina - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Plasma-chemical Technologies of Nanomaterials and Coatings, Kazan National Research Technological University.

E.A. Pankova - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Plasma-chemical Technologies of Nanomaterials and Coatings, Kazan National Research Technological University.

R.R. Shagivalieva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Plasma-chemical Technologies of Nanomaterials and Coatings, Kazan National Research Technological University.

G.I. Garipova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Clothing and Footwear Design, Kazan National Research Technological University.

M.M. Grebenshchikova - is a candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Plasma-chemical technologies of Nanomaterials and coatings at the Kazan National Research Technological University.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.
The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 270–274.
Polzunovskiy vestnik. 2026;1: 270–274.

Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки).
УДК 620.181.4:678.8:620.193.21
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.043 EDN:KPZWJY

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА СУТОЧНЫХ И СЕЗОННЫХ ТЕРМОЦИКЛОВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ПКМ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА

Айсен Леонидович Терешкин [1], Александр Александрович Габышев [2], Анна Андреевна Гаврильева [3], Ирина Григорьевна Лукачевская [4]

[1, 3, 4] Якутский научный центр СО РАН, Якутск, Россия
[1] aistereshkin@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0001-6763-1080
[3] gav-ann@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5919-495X
[4] mirkin1611@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-0886-7050
[2] Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, Якутск, Россия
[2] pilp77@mail.ru, https://orcid.org/0009-0003-2734-6554

Аннотация. *В статье исследуются суточные и сезонные термоциклы, происходящие на поверхностях полимерных композиционных материалов в условиях холодного климата в г. Якутске. Основное внимание в исследовании уделяется на переходы через определенные температурные точки перехода «замерзания–оттаивания» 0, –18 и –33 °С в зависимости от размеров влаги. Установлено, что температурная амплитуда на поверхностях образцов за сутки достигала до 40 °С. Полученные результаты подтверждают, что в условиях холодного климата г. Якутска ПКМ подвергаются многократному циклу «замерзания–оттаивания». Внутренние напряжения происходят из-за различий коэффициентов термического расширения волокон и полимерной матрицы не только при сезонных, но и суточных колебаниях температуры. Вследствие чего ускоряется образование микротрещин, их слияние и формирование макроповреждений на поверхностях композитных материалов. Тем самым происходящие термоциклы «замерзание–оттаивание» являются одним из основных факторов снижения прочностных характеристик ПКМ, и их необходимо учитывать при конструировании ПКМ для условий холодного климата.*

Ключевые слова: *полимерные композиционные материалы, холодный климат, термоциклирование, внутренние напряжения, деградация, углепластик, стеклопластик, базальтопластик.*

Благодарности: *Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-69-00009, https://rscf.ru/project/25-69-00009/.*

Для цитирования: Исследование количества суточных и сезонных термоциклов на поверхностях ПКМ в условиях холодного климата / А. Л. Терешкин [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1. С. 270–274. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.043. EDN: https://elibrary.ru/KPZWJY.

Original article

INVESTIGATION OF NUMBER OF DAILY AND SEASONAL THERMOCYCLES ON PCM SURFACES IN COLD CLIMATE CONDITIONS

Aysen L. Tereshkin [1], Alexander A. Gabyshev [2], Anna A. Gavrilieva [3], Irina G. Lukachevskaya [4]

[1, 3, 4] Yakutsk Scientific Centre SB RAS, Yakutsk, Russia
[1] aistereshkin@yandex.ru, https://orcid.org/0009-0001-6763-1080
[2] Yakutsk Scientific Centre SB RAS, Yakutsk, Russia,
[2] pilp77@mail.ru, https://orcid.org/0009-0003-2734-6554
[3] Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk, Russia,
[3] gav-ann@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5919-495X
[4] mirkin1611@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-0886-7050

Abstract. *The paper studies daily and seasonal thermocycles occurring on the surfaces of polymer composite materials under cold climate conditions in Yakutsk. The main attention in the study is paid to the transitions through certain temperature points of freeze-thaw transition 0, -18 and -33 °C depending on the moisture size. It is established that the temperature amplitude on the surfaces of the samples for a day reached up to 40 °C. The obtained results confirm that in the cold climate of Yakutsk, PCM are subjected to multiple freeze-thaw cycles. Internal stresses occur due to differences in thermal expansion coefficients of fibres and polymer matrix not only at seasonal but also daily temperature fluctuations.*

© Терешкин А. Л., Габышев А. А., Гаврильева А. А., Лукачевская И. Г., 2026

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА СУТОЧНЫХ И СЕЗОННЫХ ТЕРМОЦИКЛОВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ПКМ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА

As a consequence, the formation of microcracks, their fusion and the formation of macro-damage on the surfaces of composite materials are accelerated. Thus, the freeze-thaw thermocycles are one of the main factors of reduction of strength characteristics of PCM and it is necessary to take them into account when designing PCM for cold climate conditions.

Keywords: *polymer composite materials, cold climate, thermal cycling, internal stresses, degradation, carbon fibre reinforced plastic, glass fibre reinforced plastic, basalt plastic.*

Acknowledgements: *The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 25-69-00009, https://rscf.ru/project/25-69-00009/.*

For citation: Tereshkin, A. L., Gabyhev, A. A.,Gavrileva, A. A., Lukachevskaya, I. G. (2026). Investigation of number of daily and seasonal thermocycles on PCM surfaces in cold climate conditions. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 270-274. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.043. EDN: https: //elibrary.ru/KPZWJY.

ВВЕДЕНИЕ

Освоение арктических регионов привлекает повышенный интерес исследователей к проблемам деградации ПКМ в холодном климате [1, 2, 3]. Согласно примерам [4–7], после экспозиции на открытых стендах в различных климатических условиях, такие как в умеренно холодном, холодном и экстремально холодном климате происходит ухудшение механических показателей ПКМ соизмеримо или более существенней, чем после экспонирования в теплых и влажных регионах.

Одной из главных причин изменения механических показателей ПКМ в холодном климате является воздействие отрицательно низких температур с сезонным и суточным климатическим термоциклированием. В макроклиматическом районе с холодным климатом, такой как в городе Якутск, при среднегодовой температуре –10,6 ºС в зимний период температура воздуха опускается до отметки в –45 ºС, достигая –64 ºС [6].

В работах [8, 9] показано модельными экспериментами, что для СП через 150 и более испытаний на циклическое воздействие от –60 до +60 ºС σt уменьшается на 11 %. Для УП при растяжении поперек армирования происходит снижение предела прочности на 6 % за 10 термоциклов. Акустическая эмиссия возрастает при снижении температуры, особенно быстрый рост наблюдается при низких температурах от –40 ºС и ниже [8]. Сезонное и суточное климатическое термоциклирование изменяет амплитуду внутренних напряжений и ускоряет появление микротрещин, их слияние и формирование макроповреждений в объеме связующего или на границе с волокнами.

Влияние термоциклирования было изучено авторами [10] в однонаправленных СП, УП, БП на основе эпоксидной матрицы Tyfo S. Контроль внутренних напряжений вдоль и поперек направления армирования волокон проводился посредством оптоволоконных датчиков на основе брегговской решетки. Образцы испытывались на воздействие смены циклов замораживание и размораживание при температурах –27 и 33 ºС по 12 часов. Определено, что напряжения вдоль волокон в УП составили 4 МПа на растяжение при 30 ºС и 10 МПа на сжатие при –27 ºС. Предел прочности по прошествии 90 термоциклов при растяжении УП уменьшился на 16 %, модуль Юнга – на 18 %. В работе [11] однонаправленные стержни, изготовленные из стеклянных и углеродных волокон на основе винилэфировой матрицы, испытаны на воздействие 250 термоциклов, за один цикл охлаждали до –29 ºС и нагревали до 20 ºС в течение 12 часов. Предел прочности в итоге снизился при растяжении на 8%.

В композитных материалах наблюдается прямая тенденция по влиянию климатических факторов холодного региона в зависимости от количества содержания структурных дефектов (поры и микропоры) и количества влаги (в капиллярах). В работе [12] методом ДСК был исследован пористый эпоксидный полимер, где было показано, что содержание количества замерзающей (кристаллизирующейся) воды увеличивается прямо с увеличением объема пор. При этом при малой пористости вода находится в связанном состоянии. Это отражается на температуре замерзания влаги. Например, при снижении значения температуры до –38 ºС наблюдается пик поглощения теплового потока. Понижение температуры также отражается в виде экзотермического пика ДСК при низком тепловом потоке в районе –18 ºС, а при нагревании заметен эндотермический пик при 0,6–1,0 ºС. Это доказывает необходимость снижения температуры ниже –18 ºС для превращения связанной воды в лед в объеме ПКМ, в зависимости от содержания количеств пор и влаги.

Влияние холодного климата возрастает для ПКМ, содержащих влагу в капиллярах, порах и микропустотах. Например, в пористом эпоксидном полимере, изученном в работе [12] анализ методом ДСК, доля замерзающей воды возрастает при увеличении пористости. При малой пористости вся вода находится в связанном состоянии. При понижении температуры замерзание свободной и связанной воды выявляется экзотермическим пиком ДСК с минимумом теплового потока при –18 ºС, а при нагреве виден эндотермический пик при 0,6–1,0 ºС, связанный с плавлением льда. Пик поглощения теплового потока, вызванный связанной незамерзающей водой, наблюдается при –38 ºС. Этот результат доказывает, что для превращения воды в лед в объеме ПКМ в зависимости от количества содержащейся влаги и размеров пор требуется снижать температуру до –18 ºС и более.

При снижении температуры окружающей среды микроскопичная вода, находящаяся в объемах пор ПКМ, не кристаллизуется, а переходит в стекловидное состояние [13]. Такие переходы могут вызвать внутренние напряжения в материале, которое можно отразить соотношением [14]:

$$QdT/T = - V/dP, \quad (1)$$

где Q = 3,35*10⁵ Дж/кг – скрытая теплота плавления льда; T – абсолютная температура замерзания воды; V – удельный объем льда; P – давление, создаваемое льдом.

С понижением температуры на 1 ºС давление увеличивается на 1,13 МПа. То есть, например при снижении температуры воздуха до –40 ºС, внутреннее напряжение ПКМ [10] может повыситься до 45 МПа, что может влиять на образование микротрещин на образцах и уменьшения kR.

Размеры атмосферной влаги, или влажность воздуха, зависят от температуры климата, так как способность воздуха удерживать водяной пар увеличивается с ростом температуры. В холодном климате капли влаги, как правило, меньше, чем в теплом из-за ограниченной способности холодного воздуха удер-

живать водяной пар и медленных процессов конденсации. В холодном климате воздух содержит меньше водяного пара, и относительная влажность может быть высокой даже при низкой абсолютной влажности. И в зависимости от размеров капель влаги температура замерзания будет различна. Наноразмерные капли воды могут замерзать при значительно более низких температурах, чем обычная вода (0 ºС при нормальных условиях) [15]. Это связано с тем, что в малых объёмах вероятность образования центров кристаллизации (нуклеации) снижается. Температура замерзания около –33 ºС для капель размером 5 нм согласуется с теоретическими моделями и экспериментальными данными, полученными в последние годы. И в данном контексте необходимо рассматривать поглощение влаги материалами в различных формах, основными из которых являются «связанная вода» и «капиллярная влага». «Связанная вода» прочно удерживается силами взаимодействия с материалом на молекулярном уровне, не может свободно перемещаться [16]. Она адсорбируется из воздуха за счет сил поверхностного притяжения, а также может входить в состав полимерных структур. «Капиллярная влага» – это вода, удерживаемая в порах и капиллярах материала за счет капиллярных сил (поверхностного натяжения). Может перемещаться внутри материала, испаряется легче, чем связанная вода. И замерзает при температурах уже ниже 0 ºС, что может вызывать разрушение материала. Вся последовательность поглощения влаги материалом сводится именно к превращению данных типов: сначала материал адсорбирует «связанную воду» (например, гигроскопическую). При дальнейшем увлажнении, когда связанная вода уже насытила поверхность, появляется «капиллярная влага», заполняющая поры. При этом связанная вода влияет на механические свойства (прочность, упругость). А капиллярная влага может вызывать коррозию, плесень или разрушение при замерзании. Таким образом, связанная вода и капиллярная влага отражают разные этапы взаимодействия материала с водой, от молекулярного связывания до заполнения пор, и играют важную роль в его поведении при увлажнении и высыхании.

Поэтому целью данной работы является исследование происходящих сезонных и суточных термоциклов на поверхностях экспонированных СП и УП в условиях холодного климата.

МЕТОДЫ

Исследуемыми образцами ПКМ выбраны углепластик (УП), базальтопластик (БП) и стеклопластик (СП). Изготовлены в форме квадратной пластины размером 0,5×0,5 м, толщиной 5,27 мм СП, 5,4 мм (БП) и 5,59 мм УП. Образцы экспонируются на открытой площадке испытательного полигона экспериментальной площадки ИФТПС СО РАН в г. Якутск Республики Саха (Якутия) по ГОСТ 9.708-83. Внешние факторы, такие как повышенная влажность или осадки приводят к резкому изменению механических свойств. Особенно разрушительными являются циклы «влагонасыщение–замораживание», которые в условиях Якутска и приводят к ускоренному старению материалов [17, 18].

Для измерения температуры поверхности образцов, с учетом сезонных изменений температуры окружающей среды, выбраны контактные платиновые термометры ДТС324-РТ100.А3.41/2. Термодатчики установлены на образцах с солнечной и теневой сторон в центре и с краю угла. Сбор температурных данных проводился с помощью модулей ввода МВ210-101 производства «ОВЕН» в автоматическом режиме с опросом каналов каждые 60 мин и с передачей данных на облачный сервер Owen Cloud.



а) б)

Рисунок 1 – Экспонированные образцы ПКМ на открытом полигоне ИФПТС СО РАН: а – лицевая сторона, б – теневая сторона образцов

Figure 1 – Exposed PCM samples at the open polygon of IFPTS SB RAS: a - front side, б - shadow side of samples

Данные по температуре окружающего воздуха в г. Якутске взяты с облачного сервиса SOKOL-M, на который автоматическая метеорологическая станция СОКОЛ-М1, расположенная на открытом полигоне, автоматически отправляет метеоданные с интервалом в 20 минут.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Так как месяц март является переходным периодом от отрицательных температур воздуха к плюсовым, соответственно количество переходов через 0, –18, 33 ºС является наибольшим. В марте начинается увеличение солнечного воздействия после солнечного равноденствия и рост количества дневного света.

Количество переходов от отрицательных до плюсовых температур и обратно через 0 ºС за выбранный месяц март 2025 года для пластин УП составил 52 раза, для СП – 40. Отметку в –18 ºС УП проходил в количестве 56 раз, СП – 52. Через –33 ºС для СП – 4 момента перехода, для УП – 8, для БП соответственно 52, 50 и 8 раз. В таблице 1 показано общее количество температурных переходов в сумме за предыдущие 2 года наблюдений.

Таблица 1 – Количество переходов через разные температурные точки

Table 1 – Number of crossings over different temperature points

Год	0 °С			–18 °С			–33 °С		
	СП	БП	УП	СП	БП	УП	СП	БП	УП
2024	225	248	253	137	149	156	87	84	85
2023	213	220	236	125	138	142	76	79	81
Итого	438	468	489	262	287	298	163	163	166

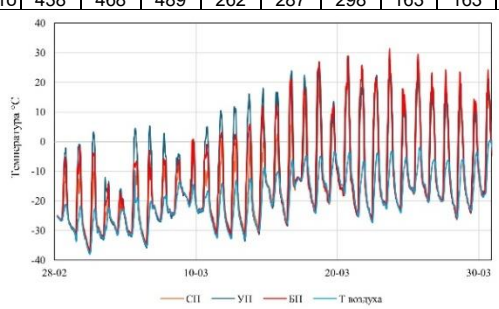


Рисунок 2 – График температуры образцов и воздуха

Figure 2 – Graph of sample and air temperature

Таблица 2 – Изменение толщины образцов во время экспонирования на открытой площадке

Table 2 – Thickness variation of samples during exposure on an open area

Дата	1.09. 2021	20.04. 2022	05.09. 2022	14.09. 2023	18.03. 2025
СП	5,27 мм	5,24 мм	5,19 мм	5,22 мм	5,18 мм
УП	5,59 мм	5,36 мм	5,52 мм	5,71 мм	5,52 мм
БП	5,4 мм	5,1 мм	5,22 мм	5,19 мм	5,22
t ºC	+8.3	-0,6	+6,5	+6,2	-11,9

Согласно формуле (1), при средней температуре окружающей среды –19,2 ºС внутреннее напряжение, создаваемое льдом в микротрещинах, составляет 21,7 МПа, что может влиять на толщину материала.

В работе [19] указано, что ПКМ являются умеренно гидрофильными образцами и способны поглощать до 3–5 % воды. В таблице (2) видно, что УП в зависимости от погодных условий толщина материала колеблется в пределах ±4 %. Для стеклопластика и базальтопластика после уменьшения толщины в первый год такой тенденции не наблюдается, и все изменения находятся в пределах погрешности в ±1 %.

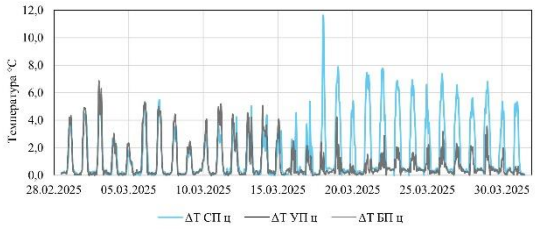
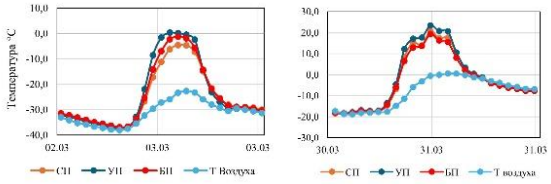


Рисунок 3 – Разница температур между солнечной и теневой сторон образцов

Figure 3 – Temperature difference between the sunny and shady sides of the samples

С повышением температуры окружающей среды разница между солнечной и теневой стороны в образцах УП и БП сокращается, нагреваясь равномерно, в СП же, наоборот, увеличивается. Нагрев БП, УП происходит более равномерно, и разница в температурах между сторонами минимальна.



а) б)

Рисунок 4 – Суточная динамика температур поверхности в образцах СП, БП и УП при минимальной и максимальной температуре окружающего воздуха:
а – динамика температуры за 02–03 марта;
б – динамика температуры за 30–31 марта

Figure 4 – Daily dynamics of surface temperature in samples SP, BP and UP at minimum and maximum ambient air temperature: a - dynamics of temperature for 02-03 March;
b - dynamics of temperature for 30-31 March.

Среднесуточная амплитуда на поверхности образцов составляет ~40 ºС, такая большая разница связана с интенсивным солнечным нагревом, в результате частота циклов замерзания–оттаивания происходит ежедневно. Высокая частота переходов температуры за сутки через отметки 0, –18 и –33 ºС с постоянным эффектом замерзания–оттаивания влаги в образцах может вызывать отслоение и изменение не только толщины, но и повлиять в упругопрочностные свойства образцов. Сравнение результатов исследования и полученных в работах [11, 21] показывает, что при переходе от отрицательных к положительным температурам и обратно ПКМ ухудшают свои механические характеристики. Высокая амплитуда термоциклирования возможна за счет цвета поверхности и конструктивных свойств материалов. Углепластик больше подвержен структурным изменениям из-за большего количества переходов через 0, –18 и –33 ºС, что подтверждается изменениями толщины материала. СП и БП менее подвержены такому термоциклу, и изменение толщины несущественна. Также термоциклы создают скачки внутренних напряжений, которые вызывают старение ПКМ из-за образования микротрещин и расслоения, которые ухудшают механические свойства ПКМ, что подтверждается исследованиями в работах [20, 22, 23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показывают, что образцы УП и БП больше подвержены солнечному воздействию, вследствие чего увеличивается количественная частота переходов через 0 ºС по сравнению с СП. Частые температурные переходы через критические точки приводят к замораживанию–оттаиванию влаги в материале, что вызывает рост внутренних напряжений и ускоряет деградацию. Наибольшее количество термоциклов зафиксировано у УП, что коррелирует с изменениями его толщины ±4 %. С помощью контактных термометров и метеоданных выявлены суточные колебания температуры поверхности образцов (амплитуда до 40 ºС), обусловленные солнечной радиацией. Показано, что УП и БП нагреваются равномернее, чем СП, но чаще подвергаются разрушающим термоциклам. Тем самым при конструировании ПКМ для условий холодного климата необходимо учитывать происходящие термоциклы «замерзание–оттаивание», которые являются одним из основных факторов снижения прочностных характеристик ПКМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старцев В.О. Климатическая стойкость полимерных композиционных материалов и защитных покрытий в умеренно-теплом климате ; дис. … на соискание ученой степени доктора технических наук / Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов. Москва, 2018. 308 с.

2. Каблов Е.Н., Лебедев М.П., Старцев О.В., Голиков Н.И. Климатические испытания материалов, элементов конструкций, техники и оборудования в условиях экстремально низких температур // Труды VI Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Том 1. Якутск, 24–29 июня 2013 г. Якутск, Ахсаан, 2013, С. 5–7.

3. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2. С. 47–58.

4. Baker D.J. Ten-Year Ground Exposure of Composite Materials Used on the Bell Model 206L Helicopter Flight

Service Program // NASA Technical Paper 3468, ARL Technical Report 480. Hampton. Virginia. 1994.

5. Авиационные материалы. Справочник в 13 томах. Том 13. Климатическая и микробиологическая стойкость неметаллических материалов / под ред. Е.Н. Каблова. М. : ВИАМ. 2015. 270 с.

6. Николаев Е.В., Барботько С.Л., Андреева Н.П., Павлов М.Р., Гращенков Д.В. Комплексное исследование воздействия климатических и эксплуатационных факторов на новое поколение эпоксидного связующего и полимерных композиционных материалов на его основе. Часть 4. Натурные климатические испытания полимерных композиционных материалов на основе эпоксидной матрицы // Труды ВИАМ. 2016. № 6. С. 93–108.

7. Startsev V.O., Lebedev M.P., Kychkin A.K. Influence of moderately warm and extremely cold climate on properties of basalt plastic armature // Heliyon. 2018. Vol. 4. Article e01060.

8. Dutta P.K. Structural fiber composite materials for cold regions // J. Cold Reg. Eng. 1988. V. 2. P. 124–134.

9. Копырин М.М., Старцев О.В., Лебедев М.П. Прочность углепластика после воздействия зимней температуры в Якутске // Целостность и ресурс в экстремальных условиях : сборник материалов и докладов Всероссийской конференции, приуроченной к 75-летию ЯНЦ СО РАН, Якутск, 19–23 сентября 2024 года. Киров : Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2024. С. 311–314.

10. Li H., Xian G., Lin Q., Zhang H. Freeze-thaw resistance of unidirectional-fiber-reinforced epoxy composites // Journal of Applied Polymer Science. 2012. V. 123. P. 3781–3788.

11. J.M. Sousa, J.R. Correia, S. Cabral-Fonseca, and A.C. Diogo. Efects of thermal cycles on the mechanical response of pultruded GFRP profles used in civil engineering applications, Compos. Struct., 116, No. 1, 720–731. (2014).

12. Abdelmola F., Carlsson L.A. State of water in void-free and void-containing epoxy specimens // Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2019. V. 26. P. 556–566.

13. Tsotsis T.K. Effects of Sub-Freezing Temperatures on Graphite / Epoxy Composite Materials // Journal of Engineering Materials and Technology. 1989. V. 111. P. 438–439.

14. Сокова С.Д. Выбор электроизоляционных материалов для ремонта с учетом из совместимости и особенностей эксплуатации // Вестник МГСУ. 2010. № 4. С. 151–156.

15. THE ROLE OF BOUND WATER AND CAPILLARY WATER IN THE EVALUATION OF POROSITY IN RESERVOIR ROCKS Nadia Pallatt & David Thornley BP Research Centre, Sunbury-on-Thames, TW16 7LN.

16. Matthew Caurie, Bound water: its definition, estimation and characteristics, International Journal of Food Science and Technology, Volume 46, Issue 5, May 2011, Pages 930–934.

17. Старцев О.В., Лебедев М.П., Кычкин А.К. Старение полимерных композиционных материалов в условиях экстремально холодного климата // Известия Алтайского государственного университета. 2020. № 1(111). С. 41–51.

18. Startsev O.V., Krotov A.S., Startseva L.T. Interlayer Shear Strength of Polymer Composite Materials During Long Term Climatic Ageing // Polym. Degrad and Stab. 1999. V. 63. P. 183–186.

19. Kablov E. & Startsev V. (2021). The Influence of Internal Stresses on the Aging of Polymer Composite Materials: a Review. Mechanics of Composite Materials. 57. 565–576.

20. O.V. Startsev, M.P. Lebedev, and A.K. Kychkin. Aging of polymer composite materials in an extremely cold climate, Izv. Altai. State Univ., No. 1 (111), 41–51. (2020).

21. S.A. Grammatikos, R.G. Jones, M. Evernden, and J.R. Correia. Thermal cycling efects on the durability of a pultruded GFRP material for of-shore civil engineering structures, Compos. Struct., 153, 297–310. (2016).

22. F. Awaja, S. Zhang, M. Tripathi, A. Nikiforov, and N. Pugno. Cracks, microcracks and fracture in polymer structures: Formation, detection, autonomic repair, Progress in Mater. Sci., 83, 536–573. (2016).

23. Bazli, Ashraf, Jafari, Zhao, Raman, and Bai. Effect of fbers confguration and thickness on tensile behavior of GFRP laminates exposed to harsh environment. Polymers, 11, No. 9, (2019).

Информация об авторах

А. Л. Терешкин – младший научный сотрудник лаборатории «Комплексные климатические испытания» Якутского научного центра.

А. А. Габышев – младший научный сотрудник лаборатории «Комплексные климатические испытания» Якутского научного центра.

А. А. Гаврильева – научный сотрудник отдела «Материаловедение» Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова.

И. Г. Лукачевская – кандидат технических наук, заведующий лаборатории «Комплексные климатические испытания» Якутского научного центра.

Information about the authors

A.L. Tereshkin - Junior Research Associate of the Laboratory ‘Integrated Climate Tests’ of the Yakutsk Scientific Centre.

A.A. Gabyshev - Junior Research Associate of the Laboratory ‘Complex Climate Testing’, Yakutsk Scientific Centre.

A.A. Gavrilieva - Research Associate of the Materials Science Department of the V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North.

I.G. Lukachevskaya - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory ‘Complex Climatic Tests’, Yakut Scientific Centre.

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

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Адонина М. В. 92
Алесенко Д. А. 147
Анисимов А. В. 32
Анцупова Т. П. 79
Астащенко В. И. 257
Асякина Л. К. 85
Аюрова О. Ж. 240
Бадретдинова Г. Р. 200
Барсуков А. Р. 220
Барсуков Р. В. 220
Беляков А. А. 147
Бикбулатов П. С. 152
Битуева Э. Б. 79
Блазнов А. Н. 236
Бондарь И. В. 162
Бохоева Л. А. 240
Бугаец Н. А. 25
Бычин Н. В. 236
Вакасова К. А. 92
Валеев А. А. 200
Вебер Д. А. 250
Величко Н. А. 162
Виниченко Л. А. 214
Габышев А. А. 270
Гаврилов С. А. 172
Гаврильева А. А. 270
Гарипова Г. И. 265
Гетманец В. Н. 68
Глотов А. И. 250
Голых Р. Н. 195
Гонгорова Л. И. 79
Горелова О. М. 214
Гребенщикова М. М. 265
Гурский И. А. 73
Гурьев А. М. 172
Гурьев М. А. 172
Девяткин Д. И. 152
Дегтярев В. А. 195
Дмитриев А. В. 200
Дмитриева О. С. 200
Донова С. А. 20
Дубровский А. А. 114
Еременко Е. П. 114
Ершов М. А. 158
Жебо А. В. 127
Живлянцева Ю. В. 158
Жукова В. Ф. 92
Забодалова Л. А. 39
Заворохина Н. В. 152
Захарова А. С. 7
Иванов С. Г. 172
Иконников А. М. 244
Иконников Н. А. 244
Ильина В. С. 39
Камышов Ю. Н. 232
Караулова Е. П. 12
Карман Т. В. 92
Кизиёва А.С. 32
Клипак М. Б. 12
Князев Е. В. 250
Кокиева Г. Е. 64
Колпакова Д. Е. 85
Конева С. И. 7
Копырин М. М. 224
Кох Д. А. 167
Кох Ж.А. 167
Куранова Л. К. 158
Лебедев М. П. 224
Леонов С. Л. 244
Липшин А. Г. 101
Логинова М. В. 232
Лукачевская И. Г. 270
Луковникова Т. В. 214
Луц А. Р. 177
Макарова А. И. 25
Малков А. В. 182
Маняхин И. А. 195
Матюшев В. В. 147
Медведкова И. И. 141
Мирошина Т. А. 135
Моргунова Н. Л. 32
Морозова Е. А. 195
Мошинский А. И. 190
Мусина О. Н. 58
Мухамедов Т. А. 53
Мухаметзянова Г. Ф. 257
Мясников А. Ю. 232
Нгуен Ш. Х. 172
Негров Д. А. 250
Нзейимана Диомед 25
Низамова Д. К. 265
Новокшанова А. Л. 49
Обрезков К. М. 195
Павлова Е. П. 79
Панкова Е. А. 265
Петров М. Г. 224
Письменный Е. А. 172
Плешивцев И. И. 85
Попова А. А. 232
Путинцев В. Ю. 250
Рахматуллина Г. Р. 265
Резниченко И. Ю. 135
Рогов В. Е. 240
Рубцова Л. Н. 190
Рядинская А. А. 114
Сакошев Е. Г. 236
Сафаров Д. Т. 257
Севастьянова Ю. В. 182
Семилет Н. А. 32
Серазетдинова Ю. Р. 85
Симонова В. Г. 121
Ситников А. А. 232
Сливин А. Н. 220
Слуцкая Т. Н. 12
Собачкин А. В. 232
Собачкин А. В. 232
Соколов С. А. 141
Соломин Д. Е. 244
Соченко Т. В. 257
Старцев О. В. 224
Степаненко Н. И. 101
Стрельникова В. О. 207
Стутко О. В. 162
Таран Ю. А. 207
Терешкин А. Л. 270
Тихонов С. Л. 53
Тихонова Н. В. 53
Топтунов Е. А. 182
Трофимова В. С. 64
Усатюк Д. А. 58
Филимонов В. Ю. 232
Фоменко О. С. 32
Фуфаева В. М. 207
Цветкова Е. О. 190
Чаплыгина И. А. 147
Чермошенцева А. С. 240
Чугунова О. В. 152
Чуев С. А. 114
Шагивалиева Р. Р. 265
Шакура В. А. 220
Шапошников Ю. А. 64
Шелковская Н. К. 20
Шерина Ю. В. 177
Яковлев В. И. 232
Яшонков А. А. 141

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья объёмом 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. 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.

Подписано в печать 20.04.2026. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.
Усл. п. л. 32,20 Тираж 100 экз. Заказ 2026 – 94.
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
Дизайн обложки: Р.С. Жуковский, доцент кафедры ТИАрх