



ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

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

№ 1

2023

Ползуновский ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

Регистрационный номер ПИ № ФС 77-75624
выдано 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 2023 г.

Научный журнал

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Маюрикова 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)
Бессон Р., проф., директор Международного российско-французского центра инноваций и
трансфера технологий (г. Безансон, Франция)
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., главный научный сотрудник Инжинирингового центра «Литейные
технологии и материалы» НИТУ МИСиС (г. Москва)
Батаев В. А., д.т.н., проф. НГТУ (г. Новосибирск)
Коновалов С. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Технологии металлов и авиационного материаловедения»
Самарского университета (г. Самара)
Щетинин М. П., д.т.н., проф., проректор по научной работе МГУПП (г. Москва)
Тамова М. Ю., д.т.н., проф., зав. каф. «Общественного питания и сервиса» КубГТУ (г. Краснодар)
Попов В. Г., д.т.н., доц., зав. каф. «Товароведение и технологии продуктов питания» ТИУ (г. Тюмень)
Егорова Е. Ю., д.т.н., доц., зав. каф. «Технология хранения и переработки зерна» АлтГТУ (г. Барнаул)
Майоров А. А., д.т.н., проф., главный научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦА (г. Барнаул)
Новоселов С. В., д.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)
Коньшин В. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Химическая технология» АлтГТУ (г. Барнаул)
Романов А. С., д.т.н., проф., зам. директора ООО «Балтийский пекарский дом» (г. Калининград)
Алтухов И. В., д.т.н., доц. ИрГАУ (г. Иркутск)
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 18.04.2023 г.
Цена 600 рублей.



Polzunovskiy VESTNIK

ISSN 2072-8921

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

Publication frequency: quarterly

№ 1 2023

SCIENTIFIC JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

Aleksey Guriev

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Larisa Mayurnikova

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

EDITORIAL BOARD

Gennady Sakovich, RAS academician, Biysk, Russia

Mei Shunqi, professor, WTU, Wuhan, China

Burial Lygdenov, Doctor of Technical Sciences, WTU, Wuhan, China

Soltan Osama Ismaeil Ahmed, Candidate of Technical Sciences, Lecturer, Minia University, El-Minia, Egypt

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, NUST MISIS, Moscow, Russia

Vladimir Bataev, Doctor of Technical Sciences, NSTU, Novosibirsk, Russia

Sergei Konovalov, Doctor of Technical Sciences, Samara University, Samara, Russia

Mikhail Shchetinin, Doctor of Technical Sciences, MSUFP, Moscow, Russia

Maya Tamova, Doctor of Technical Sciences, KubSTU, Krasnodar, Russia

Vladimir Popov, Doctor of Technical Sciences, TIU, Tyumen, Russia

Elena Egorova, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia

Aleksandr Mayorov, Doctor of Technical Sciences, FASCA, Barnaul, Russia

Sergei Novoselov, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia

Vadim Konshin, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia

Aleksandr Romanov, Doctor of Technical Sciences, professor, LLC "Baltisky Bakery House",
Kaliningrad, Russia

Igor Altukhov, Doctor of Technical Sciences, Associate professor, IrSAU, Irkutsk, Russia

Galina Gurinovich, Doctor of Technical Sciences, professor, KemSU, Kemerovo, Russia

Elena Ananieva, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, ASTU, Barnaul, Russia

ISSUE MANAGER

Tatiana Stoporeva

Candidate of Technical Sciences, ASTU,
Barnaul, Russia

TECHNICAL EDITOR

Nikolay Proskura

Editor, ASTU, Barnaul, Russia

FOUNDERS

POLZUNOV ALTAI STATE TECHNICAL UNIVERSITY (ASTU)

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

PUBLISHER

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

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

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

Signed for printing 18.04.2023



СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

<i>И. В. Бояринева, И. С. Хамагаева, В. Д. Стёпочкина, В. И. Бобченко</i> Изучение биохимического потенциала микробных консорциумов7	<i>И. А. Гурский, А. А. Творогова</i> Микроструктурные и микробиологические показатели замороженных кисломолочных взбитых десертов при хранении84
<i>О. Н. Мусина, Н. И. Бондаренко, Д. А. Усатюк</i> Комбинированное подкисление в технологии кисломолочного сыра15	<i>Л. Ч. Бурак</i> Обзор разработок биоразлагаемых упаковочных материалов для пищевой промышленности91
<i>Е. В. Дубинина, Л. Н. Крикунова</i> Роль активаторов брожения в формировании качественных характеристик фруктовых (плодовых) дистиллятов20	<i>А. В. Табакаев, О. В. Табакаева</i> Модификация белкового профиля двустворчатого моллюска <i>Mactra Chinensis</i>106
<i>И. Ю. Евдокимов, А. Н. Иркитова, А. В. Малкова, Д. Е. Дудник, М. В. Ширманов</i> Влияние уровня pH на показатели глубинного культивирования пробиотических штаммов <i>Bacillus</i>29	<i>С. Л. Тихонов, И. М. Чернуха</i> Полипептид молозива коров – перспективный функциональный ингредиент специализированной пищевой продукции для профилактики вирусных инфекций114
<i>С. Д. Божко, Т. А. Ершова, А. Н. Чернышова, Н. Г. Ли</i> Разработка хлебобулочного изделия повышенной пищевой ценности37	<i>А. В. Терёхина, Е. Ю. Желтухова</i> Разработка майонеза, сбалансированного по жирнокислотному составу123
<i>Р. В. Крюк, М. Г. Курбанова, Мухсим Мухим-Заде, В. А. Крюк, А. С. Козлякина</i> Исследование реологических характеристик рубленых полуфабрикатов из растительного аналога мяса в сравнении с традиционными45	<i>А. Г. Кручинин, Е. Е. Илларионова, С. Н. Туровская</i> Мониторинг структурообразования сгущенного молока с сахаром в процессе длительного хранения129
<i>А. В. Ландиховская, Н. В. Казакова</i> Показатели качества молочного мороженого из козьего молока сублимационной сушки51	<i>Е. А. Ерофеева, К. В. Власова, Е. Н. Артемова</i> Кекс «Цицер»137
<i>С. П. Меренкова, О. В. Зинина</i> Исследование структуры и микробиологических показателей ферментированных растительных напитков59	<i>Ю. Г. Стурова, А. В. Малкова, Е. В. Колодина, А. А. Коляда, Ю. В. Носкова, В. О. Щеголькова</i> Биотехнология получения синбиотического кисломолочного напитка с добавлением культуры <i>Bifidobacterium bifidum</i> и экстракта вишни145
<i>Н. Л. Наумова, Ю. А. Бец</i> Сравнительная оценка нерафинированных масел чиа разных торговых марок67	<i>М. Н. Школьникова, Е. Д. Рожнов</i> Физические методы исследования в объективной оценке внешнего вида напитков из растительного сырья151
<i>И. Ю. Резниченко, Г. С. Акопян</i> Использование биоактивных пептидов для обеспечения качества и хранимо-способности хлеба75	<i>Е. В. Мельникова, А. А. Беляков, Н. А. Величко</i> Разработка рецептуры и технологии кекса с использованием ягод ирги164

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

<i>И. П. Полянский, Р. О. Вихрев, И. Г. Сизов</i> Структура и свойства боридных покрытий на инструментальных сталях	171	<i>М. О. Уткин, В. В. Харьков, Г. Р. Бадретдинова, А. В. Дмитриев</i> Структура потока несущей фазы в мультивихревом сепараторе для улавливания частиц из природного газа	207
<i>И. П. Троев, А. М. Спиридонос, Л. Г. Маринова, А. П. Васильев, С. Н. Данилова, М. П. Кириллина, Д. Н. Сидорова, А. Г. Тусов, П. Н. Тарасова, А. А. Ушканов, Н. П. Гладкина, Д. В. Сивцев</i> Сравнительная характеристика воспалительной реакции при имплантации синтетических полимерных материалов на экспериментальных животных	178	<i>М. П. Данилаев, Е. А. Бобина, С. В. Дробышев, С. А. Карандашов, В. А. Куклин</i> Контроль толщины оболочки полилактида на поверхностях дисперсных частиц оксида меди (I) методом титрования	215
<i>В. В. Авраменко, А. И. Мошинский, Л. Н. Рубцова, Л. А. Цыганкова</i> Моделирование процесса выделения целевого компонента из пористых частиц путем их взаимодействия с пузырьками газа	185	<i>Е. Н. Еремин, К. Г. Кукушина, Е. А. Рогачев, Н. М. Тищенко</i> Свойства композиционных материалов, состоящих из эпоксидно-диановой смолы и титаната бария	223
<i>В. Э. Зинуров, Р. Я. Биккулов, О. С. Дмитриева, И. Н. Мадышев, А. А. Абдуллина</i> Экспериментальное определение гидравлического сопротивления мультивихревого сепаратора	191	<i>Н. Н. Минакова</i> Оценка электрофизических характеристик наполненных модифицированным техническим углеродом композиционных материалов с помощью метода локальных бинарных шаблонов	230
<i>Л. Ф. Комарова, В. А. Сомин, Д. А. Лапшин</i> Обессоливание подземных вод с использованием мембранных технологий	200	<i>А. М. Бадамшин, В. С. Ковицак, А. А. Крутко, О. Ю. Бургонова</i> Модификация металлорежущих пластин из безвольфрамового твердого сплава КНТ16 мощным ионным пучком	237
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	252	<i>М. Н. Егорова, И. И. Куркина, А. А. Дьяконов</i> Получение углеродных точек в матрице поливинилового спирта и исследование их свойств	245

CONTENTS

SECTION 1. FOOD TECHNOLOGY

<i>I.V. Boyarineva, I.S. Khamagaeva, V.D. Stepochnikina, V.I. Bobchenko</i> Study of the biochemical potential of microbial consortia	7	<i>I.A. Gurskiy, A.A. Tvorogova</i> Microstructural and microbiological indices of the frozen sour milk aerated desserts at storage	84
<i>O.N. Musina, N.I. Bondarenko, D.A. Usatyuk</i> Combined acidification in the technology of fermented milk cheese	15	<i>L.Ch. Burak</i> Overview of the development of biodegradable packaging materials for the food industry	91
<i>E.V. Dubinina, L.N. Krikunova</i> Role of fermentation activators in formation of qualitative characteristics of fruit distillates	20	<i>A.V. Tabakaev, O.V. Tabakaeva</i> Modification of the protein profile of the bivalve mollusk <i>Mactra Chinensis</i>	106
<i>I.Yu. Evdokimov, A.N. Irkitova, A.V. Malkova, D.E. Dudnik, M.V. Shirmanov</i> fluence of pH level on indicators of deep culturing of bacillus probiotic strains	29	<i>S.L. Tikhonov, I.M. Chernukha</i> Cow colostrum polypeptide is a promising functional ingredient in the composition of specialized food products for the prevention of viral infections	114
<i>S.D. Bozhko, T.A. Ershova, A.N. Chernyshova, N.G. Li</i> Development of a bakery product with increased nutritional value	37	<i>A.V. Terekhina, E.Y. Zheltoukhova</i> Development of balanced mayonnaise by fatty acid composition	123
<i>R.V. Kryuk, M.G. Kurbanova, Mukhim-Zade, Mukhsin, V.A. Kryuk, A.S. Kozlyakina</i> Study of rheological characteristics of choped semi-finished products from vegetable meat analogue in comparison with traditional	45	<i>A.G. Kruchinin, E.E. Illarionova, S.N. Turovskaya</i> Monitoring of the structure formation of sweetened condensed milk in the process of longterm storage	129
<i>A.V. Landikhovskaya, N.V. Kazakova</i> Quality indices of milk ice cream of sublimated dried goat milk	51	<i>E.A. Erofeeva, K.V. Vlasova, E.N. Artemova</i> Cupcake «Tsitser»	137
<i>S.P. Merenkova, O.V. Zinina</i> Study of the structure and microbiological indicators of fermented plant beverages	59	<i>Y.G. Sturova, A.V. Malkova, E.V. Kolodina, A.A. Kolyada, Y.V. Noskova, V.O. Shchegolkova</i> Biotechnology of synbiotic drink obtaining with <i>Bifidobacterium bifidum</i> and cherry extract addition	145
<i>N.L. Naumova, Yu.A. Betz</i> Comparative evaluation of unrefined chia oils of different brands	67	<i>M.N. Shkolnikova, E.D. Rozhnov</i> Physical methods of investigation in objective evaluation of the appearance of drinks from plant raw material	151
<i>I.Yu. Reznichenko, G.S. Akopyan</i> Use of bioactive peptides forensure the quality and storage of bread	75	<i>E.V. Melnikova, A.A. Belyakov, N.A. Velichko</i> Development of the recipe and technology of a cupcake using irgi berries.	164

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGIES, MATERIALS SCIENCES, METALLURGY

<i>I.P. Polyansky, R.O. Vihrev, I.G. Sizov</i> Structure and properties of boride coatings on tool steels	171
<i>I.P. Troev, A.M. Spiridonov, L.G. Marinova, A.P. Vasiliev, S.N. Danilova, M.P. Kirillina, D.N. Sidorova, A.G. Tuisov, P.N. Tarasova, A.A. Ushkanov, N.P. Gladkina, D.V. Sivtsev</i> Comparative characteristics of the inflammatory reaction during implantation of synthetic polymeric materials in experimental animals	178
<i>V.V. Avramenko, A.I. Moshinskiy, L.N. Rubtsova, L.A. Tsygankova</i> Modeling of the process of separating the target component from porous particles by their interaction with gas bubbles	185
<i>V.E. Zinurov, R.Ya. Bikkulov, O.S. Dmitrieva, I.N. Madyshev, A.A. Abdullina</i> Experimental determination of hydraulic resistance of a multivortex separator	191
<i>L.F. Komarova, V.A. Somin, D.A. Lapshin</i> Desalination of groundwater using membrane technologies	200
<i>M.O. Utkin, V.V. Kharkov, G.R. Badretdinova, A.V. Dmitriev</i> Carrier phase flow in multivortex separator for collecting particles from natural gas	207
<i>M.P. Danilaev, E.A. Bobina, S.V. Drobyshev, S.A. Karandashov, V.A. Kuklin</i> Control of polylactide shell thickness on the surfaces of dispersed copper (I) oxide particles by titration method	215
<i>E.N. Eremin, K.G. Kukushina, E.A. Rogschev, N.M. Tishchenko</i> Properties of composite materials consisting of epoxy resin and barium titanate	223
<i>N.N. Minakova</i> Evaluation of electrophysical characteristics filled with modified technical carbon composite materials with the help of the method of local binary templates	230
<i>A.M. Badamshin, V.S. Kovivchak, A.A. Krutko, O.Yu. Burgonova</i> Modification of metalcutting inserts from tungstenfree hard alloy KNT16 powerful ion beam	237
<i>M.N. Egorova, I.I. Kurkina, A.A. Dyakonov</i> Modification of metalcutting inserts from tungstenfree hard alloy KNT16 powerful ion beam	245
AUTHOR'S INDEX	252



РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК 637.1

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.001

 EDN: DTQXGM

ИЗУЧЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МИКРОБНЫХ КОНСОРЦИУМОВ

Ирина Валерьевна Бояринева ¹, Ирина Сергеевна Хамагаева ²,
Варвара Дмитриевна Стёпочкина ³, Виктория Ивановна Бобченко ⁴

^{1, 3, 4} Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

¹ boyarineva.iv@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

³ vdkislitsyna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4124-6002>

⁴ bobchenko.vi@dvfu.ru

² Восточно-Сибирский государственный технологический университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, Россия, ikhamagaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

Аннотация. Приведён анализ научных данных об использовании пробиотических культур, возможности совместного культивирования штамма *Propionibacteriumfreudenreichii* Sh-85 и микроорганизмов кефирной закваски. Научно-исследовательским способом обоснована необходимость использования пропионовокислых бактерий с целью повышения пробиотических свойств кисломолочных продуктов. Выбор штамма *Propionibacteriumfreudenreichii* Sh-85 в качестве пробиотической культуры основан на таких аспектах, как выживаемость в агрессивной среде, адгезивные свойства, ценные производственно-технологические свойства. Главной особенностью пропионовокислых бактерий является комплексный биосинтез метабиотиков, а именно витамина B_{12} , антимутагенов, антиоксидантов. Это усиливает их ценные биохимические и пробиотические свойства. Наиболее значимой, с точки зрения техногенности, «молочной» пропионовой бактерией является штамм *Propionibacteriumfreudenreichii* Sh-85, который может быть использован в работе самостоятельно и в сочетании с молочнокислыми бактериями. Исследования проводились на основе штамма пропионовокислых бактерий *Propionibacteriumfreudenreichii* Sh-85 и кефирной грибковой закваски. Установлено, что между пропионовокислыми бактериями и микрофлорой кефирной закваски в ходе совместного культивирования отсутствуют явления антагонизма и взаимной конкуренции. В статье приведены данные о биотехнологических и пробиотических свойствах консорциумов (комбинированных заквасок) с различным сочетанием пропионовокислых и молочнокислых микроорганизмов. Контролем служила кефирная закваска. Во всех тестовых образцах количество микробных клеток *Propionibacteriumfreudenreichii* Sh-85 и молочнокислых бактерий к концу процесса ферментации достигает 10^9 к.о.е./ cm^3 , что наглядно свидетельствует о высокой плотности микробной популяции и сбалансированном росте заквасочных микроорганизмов в консорциуме. Определен наилучший баланс пропионовокислых бактерий и грибковой закваски 1:1 с учетом биотехнологических и биохимических свойств, в частности синтеза витамина B_{12} . Полученный консорциум может быть рекомендован для дальнейшего использования в биотехнологии ферментированных функциональных молочных продуктов.

Ключевые слова: пропионовые бактерии, кефирная закваска, молочнокислые микроорганизмы, консорциум.

Для цитирования: Изучение биохимического потенциала микробных консорциумов / И. В. Бояринева [и др.]. // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 7–14. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.001. EDN: <https://elibrary.ru/DTQXGM>.

Original article

STUDY OF THE BIOCHEMICAL POTENTIAL OF MICROBIAL CONSORTIA

Irina V. Boyarneva ¹, Irina S. Khamagaeva ², Varvara D. Stepochnikina ³,
Victoria I. Bobchenko ⁴

^{1, 3, 4} Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

¹ boyarneva.iv@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

³ vdkislitsyna@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4124-6002>

⁴ bobchenko.vi@dvfu.ru

² East Siberian State Technological University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia, ikhamagaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

Abstract. The analysis of scientific data on the use of probiotic cultures, the possibility of joint cultivation of *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 strain and kefir starter microorganisms is presented. The necessity of using propionic acid bacteria in order to increase the probiotic properties of fermented milk products is substantiated. The selection of *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 strain as a probiotic culture is based on such aspects as survival in an aggressive environment, adhesive properties, valuable production and technological properties. The main feature of propionic acid bacteria is the complex biosynthesis of metabiotics, namely vitamin B₁₂, antimutagens, antioxidants. This enhances their valuable biochemical and probiotic properties. The most significant, from the point of view of manufacturability, the "milk" propionic bacterium is the *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 strain, which can be used in work independently and in combination with lactic acid bacteria. It has been established that there are no antagonism and mutual competition phenomena between propionic acid bacteria and the microflora of kefir starter culture during joint cultivation. The article presents data on biotechnological and probiotic properties of consortia (combined starter cultures) with a different combination of propionic acid and lactic acid microorganisms. Kefir starter culture served as a control. In all test samples, the number of microbial cells of *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 and lactic acid bacteria reaches 10⁹ k.o.e./cm³, which clearly indicates a high density of the microbial population and a balanced growth of starter microorganisms in the consortium. The best balance of propionic acid bacteria and fungal starter culture 1:1 has been determined, taking into account biotechnological and biochemical properties, in particular, the synthesis of vitamin B₁₂. The resulting consortium can be recommended for further use in the biotechnology of fermented functional dairy products.

Keywords: propionic bacteria, kefir starter culture, lactic acid microorganisms, consortium.

For citation: Boyarneva, I.V., Khamagaeva, I.S., Stepochnikina, V.D. & Bobchenko, V.I. (2023). Study of the biochemical potential of microbial consortia. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 7-14. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.001.EDN: <https://elibrary.ru/DTQXGM>.

ВВЕДЕНИЕ

Для сохранения и восстановления микробной экологии человека используется широкий набор микроэкологических средств (пробиотики, симбиотики, комбиотики, пре-биотики, синбиотики, виробиотики, включая фагобиотики, а также генно-инженерные про-биотики и метабиотики). Наиболее популярными до настоящего времени являются разнообразные по составу пробиотики, пребиотики, синбиотики и метабиотики [1, 2].

Пробиотические средства поступают на современный рынок в форме лекарственных

биопрепаратов, биологически активных добавок, пищевых продуктов на основе живых организмов. Потребление кисломолочных био-продуктов, содержащих микробные клетки и метаболиты бифидобактерий и лактобацилл, улучшает здоровье и психику человека за счет плавной коррекции нарушенной микробной экологии и целенаправленной оптимизации активности зон мозга, отвечающих за познавательные и интеллектуальные способности человека [3, 2]. Молочные продукты, такие как йогурт, сыр, мороженое и другие, считаются лучшим средством доставки пробио-

ИЗУЧЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МИКРОБНЫХ КОНСОРЦИУМОВ

тических штаммов в желудочно-кишечный тракт человека [4]. Недавние научные исследования подтвердили важную роль пробиотиков как части здорового питания для человека и животных. Пробиотики могут стать способом обеспечения безопасного, экономически эффективного и «естественного» подхода, который создает барьер против микробной инфекции [5].

Усиление функциональной и иммунодулирующей направленности кисломолочных биопродуктов за счет комплексного использования при их выработке определенных пробиотических штаммов заквасочных и других микроорганизмов, микробных консорциумов с заданной биологической активностью и оптимизированными ценными технологическими характеристиками, пищевых ингредиентов является весьма перспективным и актуальным инновационным направлением [2, 6, 7].

Ценными считаются микробные штаммы и консорциумы, длительно сохраняющие жизнедеятельность и биохимическую активность, зависящие не только от внешних производственных факторов (состав питательной среды, температурный режим и др.), но и от соотношения и баланса биохимически активных микробных клеток в популяциях микроорганизмов, определяющих жизнеспособность и выживаемость культур, их практическое значение в современных производственных условиях [8].

Каждый производственный пробиотический штамм молочнокислых и пропионовокислых бактерий характеризуется уникальностью по количественному и видовому признаку, разнообразием технологических свойств и биохимических процессов, а в микробном консорциуме может находиться в выраженных антагонистических и симбиотических отношениях.

Антагонистическая активность бактериальной клетки определена наличием метаболитных биологически активных веществ преимущественно белковой природы, биологический синтез которых запрограммирован генетически и может быть полностью реализован при условии соблюдения технологических параметров культивирования [9, 10, 11]. Одними из существенных производственных факторов, влияющих на чувствительность синтеза и продукцию биологически активных веществ, являются компонентный состав питательной среды, температурные режимы культивирования, определенные условия аэрации [12, 13, 14].

При ярко выраженном антагонизме наблюдается торможение микробного роста, т. е. у культур-антагонистов преобладает антимикробное влияние, и они не способны

взаимно сочетаться с культурами другого таксономического вида. А симбиотический микробный баланс и характер отношений приводит к синтезу метаболитных комплексов и взаимному усилению роста [15]. Поэтому необходимо на первом этапе конструирования комбинированных заквасок определить характер взаимоотношений между тест-культурами.

Нормальная здоровая микрофлора макроорганизма представляет собой сложную многокомпонентную и разнообразную систему, образующую важное биологическое звено в обеспечении и укреплении здоровья, нормализации и коррекции микробиома хозяина. Это определяет необходимую целесообразность конструирования микробных консорциумов, включающих пробиотические бактерии с разными механизмами биологической активности, в том числе, метаболитного синтеза.

Кефир на российском рынке является единственным кисломолочным продуктом, который производится в промышленных масштабах на кефирной грибковой закваске, представляющей спонтанное биологическое сообщество микроорганизмов разных по совместимости и антагонистической активности таксономических групп. Это микробное сообщество активно проявляет свойства самовозникновения и самоорганизации, при этом является хорошим объектом для создания пробиотического поликомпонентного биопрепарата.

Учитывая выраженный пробиотический потенциал и метаболитную активность пропионовокислых бактерий, мы предположили создание биохимически активного микробного консорциума с высокими пробиотическими свойствами на основе синергизма микроорганизмов кефирной закваски и пропионовых бактерий.

Цель работы: изучить совместимость микрофлоры закваски кефирных грибков и *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и подобрать их оптимальное соотношение.

МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования были проведены на кафедре «Технология молочных продуктов. Товароведение и экспертиза товаров», в проблемно-исследовательской лаборатории ВСГУТУ. Объектами исследования служили штамм пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85, полученный из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов ФГУП ГосНИИ «Генетика», активированный биотехническим методом, разработанным в Восточно-Сибирском государственном университете

технологии и управления; закваска кефирная грибковая ОСТ 10-02-02-487.

Количественный учет клеток пропионовокислых бактерий в биомассе изучали и определяли методом предельных разведений на питательной среде ГМС или ГМК-1 по ТУ 10-02-02-789-192-95 «Гидролизатно-молочная среда для количественного учета бифидобактерий и пропионовокислых бактерий». Идентификацию тест-культур проводили при совместном культивировании методом ингибиравания пропионовокислых бактерий антибиотиком тетрациклином. Количество клеток молочнокислых бактерий находили методом предельных разведений по ГОСТ 10444.11-89.

Для количественного определения летучих жирных кислот применяли метод газожидкостной хроматографии, исследование проводили на чешском хроматографе с пламенно-ионизационным детектором. Данный метод основан на получении летучих жирных кислот из продукта перегонкой, при дальнейшем их концентрировании и превращении в метиловые эфиры (этерификация была проведена в присутствии олеума в термостате при температуре 30-40 °С в течение 2 часов).

Витамин В₁₂ в биомассе определяли спектрофотометрическим методом, который заключается в отделении, промывании клеток пропионовокислых бактерий, и переводе кобаламинов в водный раствор путем гидролиза. Далее полученный раствор-гидролизат экспонировали на свету для превращения кобаламинов в оксикобаламины и определяли показатель оптической плотности при фиксированной длине волны 530 нм. Оптическая плотность раствора-гидролизата соответствует содержанию кобаламина.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первостепенной задачей являются исследования, направленные на изучение биотехнологических и пробиотических свойств штамма *Propionibacteriumfreudenreichii* Sh-85 [16].

В ходе проведения экспериментов было установлено, что штамм *Propionibacteriumfreudenreichii* Sh-85 имеет выраженную биохимическую активность, что наглядно подтверждается непродолжительной ферментацией.

Наблюдается высокая антимутагенная активность штамма *Propionibacteriumfreudenreichii* Sh-85 в отношении мутагенеза, эффективно индуцируемого азидом натрия, которая коррелирует с активностью биосинтеза антиокислительных ферментов каталазы и супероксидизмутазы.

Высокая адгезивность исследуемого штамма доказывает его способность прикрепляться к эпителиальным клеткам стенок кишечника человека, что повышает его выживаемость в агрессивных и неблагоприятных условиях желудочно-кишечного тракта. Штамм *Propionibacteriumfreudenreichii* Sh-85 проявляет хорошую адаптацию к низким значениям активной кислотности и повышенному содержанию желчных кислот, определена высокая устойчивость штамма к соли.

Доказано, что штамм *Propionibacteriumfreudenreichii* Sh-85 имеет высокий экзополисахаридный потенциал и синтезирует достаточно большое количество гемсодержащего витамина В₁₂, что в перспективе позволит обогатить состав молочных биопродуктов и усилить их функциональное экзометаболитное действие [17].

В дальнейшем по методу Романовича были испытаны на антагонизм культуры пропионовокислых бактерий и закваски кефирных грибков.

Важно отметить, что в течение непродолжительного времени (2-3 часов) в растворе не наблюдалось изменения окраски метиленового синего. Постепенное обесцвечивание в растворе метиленового синего одновременно с тест-контролем, то есть без пропионовых культур, наблюдали по истечении 4-4,5 часов. Полное обесцвечивание в растворе через 8-10 часов доказывает отсутствие микробного антагонизма между тест-культурами кефирной закваски и пропионовокислыми бактериями. Экспериментально установлено, что культуры могут быть применены для создания пробиотического консорциума.

Следующим этапом исследования предстояло изучить влияние производственного штамма пропионовокислых бактерий на развитие и активность микрофлоры кефирной грибковой закваски (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что производственный штамм *Propionibacteriumfreudenreichii* Sh-85 активно стимулируют рост микроорганизмов закваски кефирных грибков. Возможно, это связано с тем, что микрофлора кефирных грибков использует для своего развития определенные метабиотические факторы роста, в частности витамины группы В, производимые пропионовокислыми бактериями. Выраженный активный рост пропионовокислых бактерий в микробном консорциуме кефирных грибков наглядно свидетельствует о симбиотических взаимоотношениях тест-культур.

ИЗУЧЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА МИКРОБНЫХ КОНСОРЦИУМОВ

Таблица 1 – Рост штамма *Propionibacteriumfreudenreichii Sh-85* в растворах культуральной жидкости
Table 1 - Growth of *Propionibacterium freudenreichii Sh-85* strain in culture fluid solutions

Тест-культуры и их сочетания	Логарифм клеток <i>Propionibacteriumfreudenreichii Sh-85</i> в различных разведениях, к.о.е./см ³		
	1:4	1:8	1:16
Кефирная закваска	10 ⁸	10 ⁹	10 ⁹
Штамм <i>Propionibacterium-freudenreichii Sh-85</i> и закваска кефирных грибков в комбинации 1:1	10 ⁷	10 ⁹	10 ⁹
Штамм <i>Propionibacterium-freudenreichii Sh-85</i> и кефирная закваска в комбинации 1:0,8	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹
Штамм <i>Propionibacterium-freudenreichii Sh-85</i> и кефирная закваска в комбинации 1:0,5	10 ⁸	10 ⁹	10 ⁹

+++ - активный микробный рост
++ - нормальный микробный рост

Для управления биохимическими и микробиологическими процессами культивирования и получения заквасочных культур с высокими биотехнологическими свойствами целесообразно комплексно учитывать не только воздействие отдельных видов заквасочных культур друг на друга, но и их оптимальное комбинирование [17].

При сравнительном изучении органолептических, биохимических и микробиологиче-

ских свойств определённых комбинаций заквасочных культур наблюдали различные эффекты метаболической и пробиотической активности микробных консорциумов (таблица 2). В качестве тест-контроля использовали закваску кефирных грибов. Культивирование консорциумов проводили при температуре 30 °C, оптимальной для роста культуры *Propionibacteriumfreudenreichii Sh-85*.

Таблица 2 – Свойства консорциумов при различном соотношении культур

Table 2 - Properties of consortia with different crop ratios

Контролируемый показатель	Свойства консорциума при различном сочетании тест-культур кефирной грибковой закваски и <i>Propionibacteriumfreudenreichii Sh-85</i>			
	Варианты консорциума			
	1:1	1:0,8	1:0,5	Контроль
1	2	3	4	5
Внешний вид и консистенция	Однородная, нежная, сметанообразная	Однородная, в меру вязкая	Жидкая, однородная	Однородная, с нарушенным сгустком
Вкус и запах	Кисломолочный, освежающий, мягкий	Вкус и запах чистые, кисломолочные	Выраженный кисломолочный, излишне «кефирный», слегка острый	Кисломолочный, освежающий, острый
Цвет	Молочно-белый			
Продолжительность ферментации, ч	5,5–6,0	6,5–7,0	7,0–7,5	10–12
Титруемая кислотность, °Т	72±2	76±2	78±2	85±2
Активная кислотность, pH	4,83±0,02	4,75±0,02	4,75±0,02	4,35±0,02
Содержание витамина B ₁₂ , мкг/л	57,64	34,7	26,3	0,40

Продолжение таблицы 2 / Table 2 continued

1	2	3	4	5
Количество летучих жирных кислот, мл 0,1 н NaOH	1,0	0,8	0,6	0,5
Наличие диацетила	+	+	+	+
Наличие ацетоина	+	+	+	+
Содержание углекислого газа, мм	10	8	6	5
Количество <i>Propionibacteriumfreudenreichii</i> Sh-85, к.о.е./см ³	5×10 ⁹	2×10 ⁹	1×10 ⁹	-
Количество молочнокислых микроорганизмов, к.о.е./см ³	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹

Согласно данным таблицы 2, микробный консорциум с сочетанием тест-культур 1:1 отличается однородной, нежной, в меру плотной консистенцией, мягким освежающим кисломолочным вкусом, имеет максимальное количество клеток пробиотических культур и витамина В₁₂. Необходимо отметить непродолжительное время ферментации (5,5–6) часов данного варианта консорциума, что свидетельствует о проявлении высокой биохимической активности.

Варианты консорциумов, в которых преобладает кефирная грибная закваска, имеют более высокий уровень кислотности и продолжительное время ферментации. Необходимо отметить, что уменьшение количественного содержания пропионовокислых бактерий в микробных консорциумах обеспечивает минимальный синтез витамина В₁₂.

В дальнейшем определяли в консорциуме количество клеток культур пропионовокислых и молочнокислых при хранении (рисунок 1).

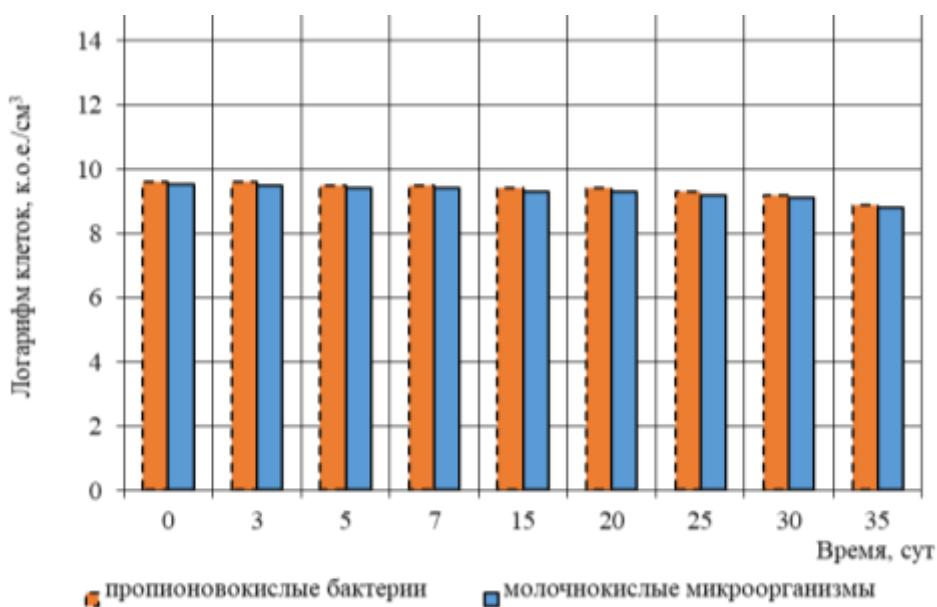


Рисунок 1 – Изменение титра жизнеспособных клеток культур при хранении

Figure 1 - Titer change of viable culture cells during storage

По полученным результатам сделан вывод, что в течение 30 суток хранения при температуре (6±2) °С количество жизнеспособных микробных клеток пробиотических культур находится на высоком уровне: 10⁹к.о.е./см³ – пропионовокислых бактерий, 10⁸к.о.е./см³ – молочнокислых микроорганизмов. Было установлено, что в консорциуме за этот период кислотность повышается незначительно, прирост со-

ставляет 10°Т. Наблюдается уменьшение количества клеток на 35-е сутки до 10⁸к.о.е./см³. Из представленных данных отслеживается, что комбинированная закваска обладает длительным сроком хранения, показан высокий уровень накопления микробных клеток пробиотических культур, по всей видимости, благодаря синтезу молочнокислыми и пропионовокислыми бактериями antimикробных веществ.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов проведенных исследований свидетельствует об активном росте культуры *Propionibacteriumfreudenreichii Sh-85* в микробном консорциуме кефирной закваски и метаболитическом потенциале микроорганизмов, что доказывает наличие симбиотической связи между тест-микроорганизмами.

Динамика накопления клеток пробиотических культур к концу ферментации во всех тестируемых консорциумах достигает значительного уровня и составляет 10^9 к.о. е./см³, что свидетельствует о достаточно высокой плотности популяции и оптимальном сбалансированном росте тест-культур в пробиотическом консорциуме.

Таким образом, наибольшее количество жизнеспособных клеток пробиотических культур 10^9 к.о.е./см³ и синтезируемого кобаламина 57,64 мкг/л установили в образце с соотношением культур пропионовокислых бактерий и закваски кефирных грибков 1:1. Данный консорциум имеет хорошие органолептические характеристики и гарантированный срок хранения 30 суток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совокупный экспериментальный анализ пробиотического штамма *Propionibacteriumfreudenreichii Sh-85* наглядно свидетельствует о его ценных биологических и технологических свойствах, что позволит использовать его при производстве ферментируемых молочных биопродуктов.

При изучении совместимости микроорганизмов экспериментально доказано отсутствие явлений антагонизма и взаимной конкуренции между штаммом пропионовокислых бактерий *Propionibacteriumfreudenreichii Sh-85* и микрофлорой кефирной закваски.

На основании изученных биотехнологических свойств и метаболитической активности тестируемых культур подобрано наиболее оптимальное сочетание заквасочных культур в микробном консорциуме, позволяющее в полной мере раскрыть их технологический и пробиотический потенциал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Шендеров Б.А., Синица А.В., Захарченко М.М. Метабиотики: вчера, сегодня, завтра. Санкт-Петербург : Крафт, 2017. 79 с.
- Олескин А. В., Шендеров Б. А. Пробиотики, психобиотики и метабиотики: проблемы и перспективы // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2020. 2(3). с. 233-243.

3. DOI:<https://doi.org/10.36425/rehab25811>. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/probiotiki-psihobiotiki-i-metabiotiki-problemy-i-perspektivy> (дата обращения: 07.12.2022).

4. O'Mahony S.M., Clarke G., Borre Y.E., et al. (2014). Serotonin, tryptophan metabolism and the brain-gut-microbiome axis. Behav Brain Res, (277), P. 32–48. doi: 10.1016/j.bbr.2014.07.027.

5. Butel M.-J. Probiotics, gut microbiota and health, Medecineet // Maladies Infectieuses. 2014. №1 (44), P. 1–8. DOI: 10.1016/j.medmal.2013.10.002.

6. Parvez S., Malik K.A., Kang S. Ah and Kim H.-Y. Probiotics and their fermented food products are beneficial for health // The Society for Applied Microbiology, Journal of Applied Microbiology. № 100(6). 2006. P. 1171–1185. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.02963.x.

7. Тихомирова Н.А. Современное состояние и перспективы развития продуктов функционального назначения // Молочная промышленность. 2009. № 7. С. 5–8.

8. Решетник Е.И. Влияние компонентного состава на пищевую и биологическую ценность комбинированного продукта / Е.И. Решетник, Е.А. Уточкина // Вестник ВСГУТУ. 2013. № 2(41). С. 63-67. – EDN PZDKZB.

9. Харитонов Д.В., Харитонова И.В., Просеков А.Ю. Разработка концепции создания синбиотиков и синбиотических молочных продуктов // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 4. С. 91–94.

10. Патент № 2704857 Российская Федерация, Штамм лактобактерий *Lactobacillusplantarum* - ВКПМ – В-13052 продуцент молочной кислоты и антибиотических веществ и компонент закваски для производства пробиотических продуктов / Цугкиев Б.Г., Рамонова Э.В., Соловьева Ю.В., Хозиев А.М., Кабисов Р.Г., Цугкиева И.Б., Петрукович А.Г., Ханикаев Д.Н., Абаева А.А.; Заявка 2018139600 от 08.11.2018. Опубл. 31.10.2019. Бюл. № 31.

11. Блинкова Л.П. Бактериоцины: критерии, классификация, свойства, методы выявления // Микробиология. 2003. № 3. С. 109–113.

12. Hong H.A., Due H.Ie, Cutting S.M. The use bacterial spore formers as probiotics // FEMS Microbiol. Rev. 2005. Vol. 4. P. 813-835. DOI: 10.1016/j.femsre.2004.12.001.

13. Stein T. *Bacillus subtilis* antibiotics: structures, syntheses and cell death // Mol. Microbiol. Ibid. 2005. Vol. 4. P. 845-857. doi: 10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x.

14. Abdel-Mawgoud A.M., Aboulwafa M.M., Hassouna N.A. Optimization of surfactin production by *Bacillus subtilis* isolate BS5 // Appl. Biochem. Biotechnol. 2008. № 3. P. 305–325.

15. Jamil B., Hasan F., Hameed A. Isolation of *Bacillus subtilis* MH-4 from soil and its potential of polypeptidic antibiotic production // Pak. J. Pharm. Sci. 2007. Vol. 1. P. 26–31.

16. Muhammad S.A., Ahmad S., Hameed A. Antibiotic production by thermophilic *Bacillus* specie SAT 4 // Pak. J. Pharm. Sci. 2009. Vol. 3. P. 339–345.

17. Boarieneva I.V., Zambalova N.A., Khamagaeva I.S. Technological aspects of innovative milk-based bioproducts. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science // Earth Environ. Sci. 1052 (2022) 012069. on 24.08.2022 at 05:02. P. 1–9. doi:10.1088/1755-1315/1052/1/012069.

18. Бояринева И.В. Теоретические и практические аспекты создания инновационных биопродуктов для функционального питания с использованием консорциума молочнокислых и пропионовокислых бактерий; автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04. Улан-Удэ. 2020. 36 с.

Информация об авторах

И. В. Бояринева – д.т.н., профессор базовой кафедры «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института

биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет.

И. С. Хамагаева – д.т.н., профессор, кафедра «Технология продуктов животного происхождения», Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления.

В. Д. Степочкина – аспирант базовой кафедры «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет.

В. И. Бобченко – кандидат технических наук, доцент базовой кафедры «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Института биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет.

REFERENCES

1. Shenderov, B.A., Sinitsa, A.V. & Zakharchenko, M.M. (2017). Metabiotics: yesterday, today, tomorrow. St. Petersburg: Kraft. (In Russ.).
2. Oleskin, A.V. & Shenderov, B.A. (2020). Probiotics, prebiotics and metabiotics: problems and prospects // Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation. 2(3). 233-243. DOI:<http://doi.org/10.36425/rehab25811>. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/probiotiki-psihobiotiki-i-metabiotiki-problemy-i-perspektivy>. (In Russ.).
3. O'Mahony, S.M., Clarke, G., Borre, Y.E. & et. al. (2014). Serotonin, tryptophan metabolism and the brain-gut-microbiome axis. Behav Brain Res. 32-48. doi: 10.1016/j.bbr.2014.07.027.
4. Butel, M.-J. (2014). Probiotics, gut microbiota and health, Medecineet ' Maladies Infectieuses, 1(44). 1-8. DOI: 10.1016/j.medmal.2013.10.002.
5. Parvez, S., Malik, K.A., Kang, S. Ah and Kim H.-Y. (2006). Probiotics and their fermented food products are beneficial for health. The Society for Applied Microbiology, Journal of Applied Microbiology. 100(6). 1171-1185. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.02963.x.
6. Tikhomirova, N.A. (2009). The current state and prospects of development of functional products. Dairy industry. (7). 5-8. (In Russ.).
7. Reshetnik, E.I. & Utochkin, E.A. (2013). Influence of the component composition on the nutritional and biological value of the combined product. Bulletin of VSGUTU. 2(41). 63-67. EDN PZDKZB. (In Russ.).
8. Kharitonov, D.V. Kharitonova, I.V. & Prosekov, A.Yu. (2013). Development of the concept of creating synbiotics and symbiotic dairy products. Technique and technology of food production. (4). 91-94. (In Russ.).
9. Tsugkiev, B.G., Ramonova, E.V., Soloviev, Yu.V., Khozhev, A.M., Kabisov, R.G., Tsugkueva, I.B., Petrukovich, A.G., Khanikaev, D.N. & Abaeva, A.A. (2019). Lactobacillus plantarum lactobacillus strain - VKPM - B-13052 producer of lactic acid and antibiotic substances and a component of starter culture for the production of probiotic products. Pat. 2704857. Russian Federation. Publ. of 31Okt2019. (In Russ.).
10. Blinkova, L.P. (2003). Bacteriocins : criteria, classification, properties, methods of detection. Microbiology. (3). 109-113. (In Russ.).
11. Hong, H.A., Due, H.Ie. & Cutting, S.M. (2005). The use bacterial spore formers as probiotics. FEMS Microbiol. Rev. (4). 813-835. DOI: 10.1016/j.femsre.2004.12.001.
12. Stein, T. (2005). *Bacillus subtilis* antibiotics: structures, syntheses and cell death. Mol. Microbiol. Ibid. (4). 845-857. doi: 10.1111/j.1365-2958.2005.04587.x.
13. Abdel-Mawgoud, A.M., Aboulwafa, M.M. & Hasouna, N.A. (2008). Optimization of surfactin production by *Bacillus subtilis* isolate BS5. Appl. Biochem. Biotechnol. (3). 305-325. doi: 10.1007/s12010-008-8155-x.
14. Jamil, B., Hasan, F. & Hameed, A. (2007). Isolation of *Bacillus subtilis* MH-4 from soil and its potential of polypeptidic antibiotic production. Pak. J. Pharm. Sci. (1). 26-31.
15. Muhammad, S.A., Ahmad, S. & Hameed, A. (2009). Antibiotic production by thermophilic *Bacillus* specie SAT 4. Pak. J. Pharm. Sci. (3). 339-345.
16. Boyarneva, I.V., Zambalova, N.A. & Khamagaeva, I.S. (2022). Technological aspects of innovative milk-based bioproducts. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Earth Environ. Sci. 1052 012069. on 24.08.2022 at 05:02. 1-9. doi:10.1088/1755-1315/1052/1/012069.
17. Boyarneva, I.V. (2020). Theoretical and practical aspects of creating innovative bioproducts for functional nutrition using a consortium of lactic acid and propionic acid bacteria. Doctor 's thesis. Ulan-Ude. (In Russ.).

Information about the authors

I.V. Boyarneva - Doctor of Technical Sciences, professor of the «Basic Department of Bioeconomics and Food Security» of the Innovative Technological Center of the Advanced Engineering School of the «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Federal State Autonomous educational institution of higher education «Far Eastern Federal University».

I.S. Khamagaeva - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of "Technology of animal products", East Siberian State Technological University of Technology and Management.

V.D. Stepochkina - post-graduate student of the «Basic Department of Bioeconomics and Food Security» of the «Innovative Technological Center of the Advanced Engineering School of the «Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Federal State Autonomous educational institution of higher education «Far Eastern Federal University».

V.I. Bobchenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the «Basic Department of Bioeconomics and Food Security» of the «Innovative Technological Center of the Advanced Engineering School of the Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems», Federal State Autonomous educational institution of higher education «Far Eastern Federal University».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 20.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 20 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



КОМБИНИРОВАННОЕ ПОДКИСЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ КИСЛОМОЛОЧНОГО СЫРА

Ольга Николаевна Мусина ¹, Нина Ивановна Бондаренко ²,
Дарья Андреевна Усатюк ³

^{1, 2, 3} ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», г. Барнаул, Россия
¹ musinaolga@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4938-8136>
² bni-22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9045-6834>
³ d_usatyuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7852-1680>

Аннотация. Представлена разработанная технология мягкого кисломолочного сыра. Разработанная технология предполагает применение комбинированного подкисления молока при помощи органической кислоты и микробиологической закваски. В качестве органического подкислителя использовали лимонную, уксусную кислоту и глюконо-дельта-лактон (ГДЛ). Состав закваски представлен следующими микроорганизмами: *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *diacetilactis*.

Основная цель исследований, направленных на создание новой технологии производства кисломолочного сыра с комбинированным подкислением, состояла в сокращении производственного цикла и определении оптимальных технологических параметров, способствующих получению мягкого кисломолочного сыра с нежной мажущейся консистенцией и выраженным кисло-сливочным вкусом.

Предлагаемая технология сыра отличается сокращенным производственным циклом за счет научно-обоснованных технологических параметров, способствующих получению мягкого сыра с нежной мажущейся консистенцией и выраженным кисло-сливочным вкусом.

Наибольший выход сыра с высоким значением массовой доли влаги отмечен при использовании в качестве подкислителя уксусной кислоты, чуть меньше лимонной и еще меньше ГДЛ. При использовании глюконовой кислоты в предварительном подкислении консистенция сыра была наиболее однородной и связной. По активной кислотности образцы сыра с ГДЛ имели более высокий pH, чем образцы с лимонной и уксусной кислотами. Кислотность сыворотки, наоборот, у образцов с лимонной и уксусной кислотами была чуть выше.

Комбинированное подкисление позволило сократить процесс свертывания молочной смеси и образования сгустка. В качестве органического подкислителя рекомендован ГДЛ. Использование ГДЛ способствует наилучшему и наиболее полному выделению более кислой сыворотки во время самопрессования и получению более плотного и менее кислого образца сыра.

Ключевые слова: технология, кисломолочный сыр, закваска, органолептические показатели, физико-химические показатели, комбинированное подкисление, глюконо-дельта-лактон, активная кислотность, свертывание.

Для цитирования: Мусина О. Н., Бондаренко Н. И., Усатюк Д. А. Комбинированное подкисление в технологии кисломолочного сыра // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 15–19. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.002. EDN: <https://elibrary.ru/QPХРРХ>.

Original article

COMBINED ACIDIFICATION IN THE TECHNOLOGY OF FERMENTED MILK CHEESE

Olga N. Musina ¹, Nina I. Bondarenko ², Daria A. Usatyuk ³

^{1, 2, 3} Federal Altai Scientific Centre of Agro-BioTechnologies, Barnaul, Russia

¹ musinaolga@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4938-8136>

² bni-22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9045-6834>

³ d_usatyuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7852-1680>.

Abstract. The developed technology of soft sour-milk cheese is presented. The developed technology involves the use of combined acidification of milk using organic acid and microbiological starter culture. Citric acid, acetic acid and glucon-delta-lactone were used as organic acidifiers. The composition of the starter is represented by the following microorganisms: *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *diacetilactis*.

The main purpose of the research aimed at creating a new technology for the production of sour-milk cheese with combined acidification was to shorten the production cycle and determine the optimal technological parameters that contribute to the production of soft sour-milk cheese with a delicate smearing consistency and a pronounced sour-cream taste.

The proposed cheese technology is characterized by a shortened production cycle due to scientifically based technological parameters that contribute to the production of soft cheese with a delicate smearing consistency and a pronounced sour-creamy taste.

The highest yield of cheese with a high value of the mass fraction of moisture was noted when using acetic acid as an acidifier, slightly less citric acid and even less glucono-delta-lactone. When using gluconic acid in pre-acidification, the consistency of the cheese was the most homogeneous and coherent. According to the active acidity, the samples of cheese with glucono-delta-lactone had a higher pH than the samples with citric and acetic acids. The acidity of the serum, on the contrary, in the samples with citric and acetic acids was slightly higher.

Combined acidification made it possible to reduce the process of coagulation of the milk mixture and the formation of a clot. Glucono-delta-lactone is recommended as an organic acidifier. The use of glucono-delta-lactone contributes to the best and most complete release of more acidic whey during self-pressing and to obtain a denser and less acidic cheese sample.

Keywords: technology, fermented milk cheese, sourdough, organoleptic parameters, physico-chemical parameters, combined acidification, glucone-delta-lactone, active acidity, coagulation.

For citation: Musina, O.N., Bondarenko, N.I. & Usatyuk, D.A. (2023). Combined acidification in the technology of fermented milk cheese. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 15-19. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.002.EDN: <https://elibrary.ru/QPXPPX>.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» термин «кисломолочный сыр» отсутствует, а основным идентификационным показателем является массовая доля влаги в обезжиренном веществе сыра [1].

Кисломолочный сыр – молочный продукт, произведенный из молока с использованием специальных заквасок, обеспечивающих коагуляцию молочного белка кислотным способом с помощью или без молоко-свертывающих ферментов, с последующим отделением или без отделения сырной массы от сыворотки, ее формированием, самопрессованием, с посолкой или без посолки, созреванием

или без созревания. По массовой доле влаги в обезжиренном веществе кисломолочные сыры чаще относятся к мягким сырам [2–4].

Кисломолочные сыры России – «Чайный», «Клинковый», «Домашний», «Сливочный», «Нарочь», «Айболит» [5]. Но, к сожалению, все перечисленные сыры в настоящее время промышленностью практически не выпускаются. Исключение составляет сыр «Домашний», который выпускается как зерненный творог. К наиболее известным зарубежным кисломолочным сырам относятся: «Филадельфия», «Маскарпоне», «Куломье», «Невшатель».

Кисломолочные сыры [6] характеризуются высокой кислотностью, в результате чего их вкус отличается от вкуса созревающих сы

КОМБИНИРОВАННОЕ ПОДКИСЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ КИСЛОМОЛОЧНОГО СЫРА

чужных сыров и характеризуются выраженным кисломолочным вкусом и запахом.

При кислотном типе свертывания, идущим с использованием только молочной кислоты, продуцируемой микроорганизмами закваски, процесс образования сгустка занимает длительное время до 20 ч. При кислотно-сычужном типе свертывания процесс образования сгустка сокращается до 12 ч, а при повышении температуры до 28 °C процесс ускоряется и занимает 5–6 ч. Фермент вносят в молоко вместе с закваской или после нарастания кислотности до 6,3–6,0 ед. pH. Образование сгустка при кислотно-сычужном типе свертывания происходит при помощи кислоты и сырчужного фермента, а готовность такого сгустка к разрезке многими авторами отмечается по достижении им активной кислотности 5,3–5,0 ед. pH. При активной кислотности более 5,3 ед. pH в кислотно-сычужном сгустке преобладают силы дезинтеграции между казиновыми мицеллами, а при pH менее 5,3 ед. начинают нарастать силы агрегирования, что, собственно, и приводит к уплотнению сгустка [7]. Под действием сырчужного фермента в подкисленной среде образуются новые реакционноспособные участки на молекуле казеина, между молекулами создаются новые связи, что уменьшает силы дезинтеграции, и в итоге прочность сгустка возрастает. При кислотно-сычужном типе свертывания сгусток получается более прочным при более высоких значениях активной кислотности, в отличие от кислотного типа свертывания. Есть данные, что кислотно-сычужные сгустки при активной кислотности ниже 4,6 ед. pH становятся слабыми и теряют способность к синерезису, а при pH менее 4,2 ед. сгусток полностью теряет способность к сжатию и выделению сыворотки [8].

Основная цель проводимых исследований, направленных на создание новой технологии производства кисломолочного сыра с комбинированным подкислением, состояла в сокращении производственного цикла и определении оптимальных технологических параметров, способствующих получению мягкого кисломолочного сыра с нежной мажущейся консистенцией и выраженным кислосливочным вкусом. Технология получения кисломолочных мажущихся сливочных сыров при использовании традиционного способа подразумевает длительный процесс получения сгустка в ванне и еще более длительный процесс отделения сгустка от сыворотки. Длительность технологического процесса обусловлена медленным нарастанием кислотности нормализованной по жиру смеси как

при кислотно-сычужном, так и при кислотном типе свертывания. При этом кислотный тип свертывания характеризуется еще более длительным процессом отделения сыворотки от сгустка. Следовательно, актуальным является научное обоснование ускоренной технологии кисломолочного сыра с комбинированным подкислением.

МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись:

- молоко коровье сырое по ГОСТ 31449-2013;
- экспериментальные образцы сыра и сыворотка, получаемая при его выработке.

Физико-химические показатели в сырье и готовом продукте определяли по стандартным методикам, в частности:

- активную кислотность – по ГОСТ 32892-2014;
- массовую долю влаги – по ГОСТ Р 55063-2012;
- органолептические показатели мягкого сыра – по ГОСТ 33630-2015.

Кисломолочный сыр с комбинированным подкислением получали из цельного молока жирностью от 3,9 до 4,1 %.

В качестве органического подкислителя использовали лимонную, уксусную кислоту и глюконо-дельта-лактон (ГДЛ) [9]. Состав закваски представлен следующими микроорганизмами: *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В создании новой технологии кисломолочного сыра научными сотрудниками лаборатории научно-прикладных и технологических разработок отдела СибНИИС ФГБНУ ФАНЦА использовано цельное молоко для получения кисломолочного сливочного вкуса и мягкой мажущейся консистенции, а также кислотно-сычужный тип свертывания с применением предварительного органического подкисления смеси, направленного на сокращение продолжительности свертывания и нарастания кислотности. При кислотно-сычужном типе свертывания сгусток получается более прочным при более высоких значениях активной кислотности, в отличие от кислотного типа свертывания.

Сначала очищенное цельное молоко пастеризовали при температуре от 78 до 80 °C с выдержкой от 20 до 25 с. Затем молоко охлаждали до температуры сквашивания от 28 до 30 °C (выбор температуры сквашивания обусловлен выбором заквасочных культур) и

проводили прямое подкисление раствором органических кислот до pH 6,0 ед. После этого вносили кальций хлористый из расчета 40 г на 100 кг молока. Далее в смесь вносили производственную закваску с учетом дозы органического подкислителя. Учитывая ожидаемые органолептические и физико-химические показатели, выбрана закваска БЗ-Лс производителя ООО «Барнаульская биофабрика». В конце составления смеси для сквашивания вносили раствор сычужного фермента и смесь оставляли при температуре сквашивания в покое до образования видимого сгустка и достижения им активной кислотности 5,0 ед. pH. Данная кислотность

была достигнута в течение менее чем 4 часов. Далее сгусток выкладывали без перемешивания в лавсановые мешки для само-прессования до получения необходимой влажности при температуре от 18 до 22 °C в течение от 14 до 16 ч. Отделившиеся сгустки раскладывали в полимерную упаковку и отправляли на охлаждение и структурирование в холодильную камеру при температуре от 4 до 6 °C в течение 24 часов.

В таблице 1 приведены органолептические показатели экспериментальных образцов кисломолочного сыра с комбинированным подкислением с использованием различных органических кислот.

Таблица 1 – Органолептические показатели кисломолочного сыра с комбинированным подкислением
Table 1 - Organoleptic characteristics of fermented milk cheese with combined acidification

Органолептические показатели	Вид кислотного агента		
	Уксусная кислота	Лимонная кислота	ГДЛ
Внешний вид	Отделение сыворотки на поверхности сыра после охлаждения	Незначительное отделение сыворотки на поверхности сыра после охлаждения	Без отделения сыворотки
	Поверхность шероховатая (буристая)		
Консистенция	Неоднородная с включением крупной жестковатой крошки	Неоднородная с включением мелкой мягкой крошки	Однородная, с незначительным количеством крупного мягкого зерна, приобретающего однородную структуру после механического воздействия
Вкус и запах	Привкус и запах уксусной кислоты	Кисловатый вкус	Чистый, кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов
Цвет	От белого до слабожелтого оттенка		

При использовании ГДЛ удалось получить чистый приятный кисломолочный вкус и запах, а также однородную мажущуюся консистенцию.

В таблице 2 представлены данные физико-химических исследований экспериментальных образцов кисломолочного сыра с комбинированным подкислением.

Таблица 2 – Физико-химические показатели сыра и сыворотки

Table 2 - Physico-chemical parameters of cheese and whey

Подкислитель	Активная кислотность, ед. pH		Выход сыра, %	Массовая доля влаги, %
	сыворотки	сыра		
Уксусная кислота	4,77± 0,15	4,27± 0,10	22,3± 0,15	58,9± 0,20
Лимонная кислота	4,71± 0,11	4,35± 0,08	21,9± 0,11	58,1± 0,16
ГДЛ	4,60± 0,10	4,43± 0,12	21,5± 0,13	56,8± 0,17

Как видно из таблицы 2, наибольший выход сыра с высоким значением массовой доли влаги отмечен при использовании в качестве подкислителя уксусной кислоты, чуть меньше лимонной и еще меньше ГДЛ. Полученный результат объясняет наличие свободной влаги в виде выделившейся сыворот-

ки в этих образцах в процессе их охлаждения. При использовании глюконовой кислоты в предварительном подкислении консистенция сыра была наиболее однородной и связной. По активной кислотности образцы сыра с ГДЛ имели более высокий pH, чем образцы с лимонной и уксусной кислотами. Кислотность

КОМБИНИРОВАННОЕ ПОДКИСЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ КИСЛОМОЛОЧНОГО СЫРА

сыворотки, наоборот, у образцов с лимонной и уксусной кислотами была чуть выше. Полученный результат по активной кислотности свидетельствует о том, что использование ГДЛ способствует наилучшему и наиболее полному выделению более кислой сыворотки во время самопрессования и получению более плотного и менее кислого образца сыра.

ВЫВОДЫ

В результате проведения научно-практических исследований по разработке технологии нового кисломолочного сыра с комбинированным подкислением в качестве кислотного агента рекомендовано следующее:

- применение глюконо-дельта-лактона для предварительного прямого подкисления;
- использование мезофильного типа бактериальной закваски;
- ведение технологического процесса при оптимальных температурно-временных режимах.

В результате гарантировано получение мягкого кисло-сливочного сыра с мягкой кремообразной консистенцией. Путем применения предварительного подкисления специально подобранных заквасочных микроорганизмов и дополнительных ингредиентов удалось значительно сократить процесс получения кисло-сливочного сыра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТР ТС 033/2013. О безопасности молока и молочной продукции. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/499050562>. (дата обращения: 14.09.2022).
2. Макарын А.М. Производство мягких сыров. М. : Изд-во «Пищевая промышленность», 1971. 128 с.
3. Скотт Р., Робинсон Р.К., Уилби Р.А. Производство сыра: научные основы и технологии. СПб. : Профессия, 2005. 464 с.
4. Николаев А.М. Технология мягких сыров. М. : Пищевая промышленность, 1980. 216 с.
5. Лях В.Я., Шергина И.А., Садовая Т.Н. Справочник сырорема. СПб. : Профессия, 2011. 680 с.
6. Шумилов С.Ю. Исследование и разработка технологии производства мягких кисломолочных сыров: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Улан-Удэ, 1998. 15 с.
7. Emmons D.B., Price W.V., Swanson A.M. Factors affecting the pH of skim milk coagulation by lactic culture // Journal Dairy Science. 1959. № 42. P. 589-597.
8. Van Vliet T. Rheological properties of filled gels. Influence of filler matrix interaction. Colloid Polym // Materials Science. 1988. № 266. P. 518–524.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 21.09.2022; одобрена после рецензирования 13.02.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 21 Sep 2022; approved after editing on 13 Febr 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.

9. Глюконо Дельта Лактон (ГДЛ) – орион продукт. Режим доступа: URL : <https://orion-food.com/gdl.html> (дата обращения: 8.09.2022).

Информация об авторах

О. Н. Мусина – д-р техн. наук, гл. науч. сотр., руководитель «Сибирского НИИ сырорема» ФГБНУ ФАНЦА.

Н. И. Бондаренко – зав. лаб. научно-прикладных и технологических разработок «Сибирского НИИ сырорема» ФГБНУ ФАНЦА.

Д. А. Усатюк – науч. сотр. лаб. научно-прикладных и технологических разработок «Сибирского НИИ сырорема» ФГБНУ ФАНЦА.

REFERENCES

1. On the safety of milk and dairy products (2013). TR CU 033/2013. Retrieved from - <https://docs.cntd.ru/do-cument/499050562>. (In Russ.).
2. Makarin, A.M. (1971). Production of soft materials. Moscow: Publishing house "Food industry". (In Russ.).
3. Scott, R., Robinson, R.K. & Wilby, R.A. (2005). Cheese production: scientific foundations and technologies. St. Petersburg: Profession.(In Russ.).
4. Nikolaev, A.M. (1980). Technology of soft cheeses. Moscow: Food industry. (In Russ.).
5. Lyakh, V.Ya., Shergina, I.A. & Sadovaya, T.N. (2011). Handbook of cheese maker. St. Petersburg: Profession. (In Russ.).
6. Shumilov, S.Yu. (1998). Research and development of technology for the production of soft sour-milk cheeses. Extended abstract of candidate's thesis. Ulan-Ude. (In Russ.).
7. Emmons, D.B., Price, W.V. & Swanson, A.M. (1959). Factors affecting the pH of skim milk coagulation by lactic culture. Journal Dairy Science, (42), 589-597.
8. Van Vliet, T. (1988). Rheological properties of filled gels. Influence of filler matrix interaction. Colloid Polym. Materials Science, (266), 518-524.
9. Glucono Delta Lactone (GDL) - orion product (2022). Retrieved from - <https://orion-food.com/gdl.html>. (In Russ.).

Information about the authors

O.N. Musina - D.Sc., Head of the «Siberian Research Institute of Cheese-Making» Federal Altai Scientific Centre of Agro-Bio Technologies (FASCA).

N.I. Bondarenko - Head of the Laboratory of Scientific, Applied and Technological Developments of the «Siberian Research Institute of Cheese-Makin», FASCA.

D.A. Usatiuk - research scientist, Laboratory of Scientific, Applied and Technological Developments of the "Siberian Research Institute of Cheese-Makin", FASCA.



РОЛЬ АКТИВАТОРОВ БРОЖЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРУКТОВЫХ (ПЛОДОВЫХ) ДИСТИЛЛЯТОВ

Елена Васильевна Дубинина¹, Людмила Николаевна Крикунова²

^{1, 2} Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия

¹ elena-vd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8364-9539>

² oltiv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7335-0453>

Аннотация. Вопросы повышения качества и рентабельности производства фруктовых (плодовых) дистиллятов и плодовых водок на их основе являются актуальным направлением исследований. Для решения существующих проблем предлагаются различные технологические приемы, одним из которых является использование активаторов брожения. Цель настоящей работы состояла в исследовании влияния активаторов брожения на выход дистиллята из сброшенной кизиловой мезги и его качественные характеристики. В качестве объектов исследования использовали образцы водных экстрактов пяти активаторов брожения различного состава, а также контрольные и опытные образцы дистиллятов, полученных из разных партий кизила без использования и с использованием используемых активаторов. Изучено влияние активной кислотности на растворимость отдельных компонентов активаторов брожения. Показано, что подкисление до pH 3,2–3,5 приводит к повышению растворимости белка на 10–19 %, аминного азота – на 4–13 %, фосфора – на 24–33 %, по сравнению с нейтральной средой. Показано, что выход дистиллята в пересчете на безводный спирт зависит от особенностей физико-химического состава используемого активатора брожения. Исследован состав летучих компонентов и определена органолептическая характеристика контрольных и опытных образцов дистиллятов. С использованием корреляционного анализа выбраны в качестве маркеров для оценки влияния состава активаторов брожения на качество кизилового дистиллята следующие показатели: массовые концентрации ацетальдегида и метанола, а также соотношение «сумма энантовых эфиров / сумма сложных эфиров». Установлена высокая степень зависимости выбранных маркеров от концентрации растворимых форм белка и фосфора в активаторе брожения.

Ключевые слова: активаторы брожения, растворимость, биохимический состав, активная кислотность, растворимый белок, аминный азот, фосфор, фруктовые (плодовые) дистилляты, летучие компоненты, органолептическая характеристика.

Для цитирования: Дубинина Е. В., Крикунова Л. Н. Роль активаторов брожения в формировании качественных характеристик фруктовых (плодовых) дистиллятов // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 20–28. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.003. EDN: <https://elibrary.ru/WQGDAP>.

Original article

ROLE OF FERMENTATION ACTIVATORS IN FORMATION OF QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF FRUIT DISTILLATES

Elena V. Dubinina¹, Ludmila N. Krikunova²

^{1, 2} All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry - Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS

¹ elena-vd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8364-9539>

² oltiv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7335-0453>

Abstract. The issues of improving the quality of fruit distillates and fruit brandy are an perspective area of research. To solve the existing quality problems, various technological techniques are offered, one of which is the use of fermentation activators. The purpose of this work was to study the effect of fermentation activators on the yield of distillate from fermented Cornelian cherries pulp and its qualitative characteristics. As objects of research, samples of aqueous extracts from five fermentation activators of various compositions were used, as well as control and experimental samples of distillates obtained from different batches of Cornelian cherries without the use and with the use of test activators. The effect of active acidity on the solubility of individual components of fermentation activators has been studied. It is shown that acidification to a pH of 3.2-3.5 leads to an increase in the solubility of protein by 10-19%, amine nitrogen by 4-13%, phosphorus by 24-33%, compared to a neutral medium. It is shown that the distillate yield in terms of anhydrous alcohol depends on the physical and chemical composition of the fermentation activator used. The composition of volatile components was investigated and the organoleptic properties of control and experimental samples of distillates were determined. Using correlation analysis, markers were selected to assess the effect of the composition of fermentation activators on the quality of Cornelian cherries distillate. A high degree of dependence of the mass concentrations of acetaldehyde and methanol, as well as the value of the ratio "sum of enantiomeric esters/sum of esters" on the concentration of soluble forms of protein and phosphorus in the fermentation activator was established.

Keywords: fermentation activators, solubility, biochemical composition, active acidity, soluble protein, amine nitrogen, phosphorus, fruit distillates, volatile components, organoleptic characteristics.

For citation: Dubinina, E. V. & Krikunova, L. N. (2023). Role of fermentation activators in formation of qualitative characteristics of fruit distillates. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 20-28. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.003. EDN: <https://elibrary.ru/WQGDAP>.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении ряда последних лет специалистами ВНИИПБиВП активно проводятся исследования, посвященные совершенствованию технологий фруктовых (плодовых) дистиллятов и спиртных напитков на их основе. В первую очередь это обусловлено имеющейся в Российской Федерации обширной сырьевой базой как культурного, так и дикорастущего плодового сырья. Кроме того, потенциальная возможность увеличения объемов использования плодового сырья, не вос требованного другими отраслями пищевой промышленности, позволит более рационально использовать сырьевые ресурсы страны.

Плодовые водки относятся к элитной алкогольной продукции, пользующейся повышенным спросом, несмотря на её высокую стоимость. Вместе с тем, продукция данного класса не всегда отвечает по своим качественным характеристикам запросам потребителей. Для решения существующих проблем учеными и специалистами предлагаются различные технологические приемы. Так, для повышения качества спиртных напитков из плодового сырья рассматривались различные способы его подготовки к дистилляции [1, 2], использование различных рас

шенным спросом, несмотря на её высокую стоимость. Вместе с тем, продукция данного класса не всегда отвечает по своим качественным характеристикам запросам потребителей. Для решения существующих проблем учеными и специалистами предлагаются различные технологические приемы. Так, для повышения качества спиртных напитков из плодового сырья рассматривались различные способы его подготовки к дистилляции [1, 2], использование различных рас

метаболизма дрожжевых клеток [7, 8]. В технологии фруктовых (плодовых) дистиллятов, как показано ранее, применяются различные активаторы брожения [9].

Впервые при разработке технологии дистиллята из плодов кизила была проведена сравнительная оценка растворимых фракций наиболее часто используемых в производстве активаторов брожения [10]. Показано, что активаторы брожения, в зависимости от биохимического состава растворимой фракции, в частности, соотношения аминного азота и концентрации фосфора, по-разному влияют на процесс сбраживания – набор спирта и качественные характеристики сбраженного сырья.

Цель данной работы состояла в исследовании влияния активаторов брожения на выход дистиллята из сбраженной кизиловой мезги и его качественные характеристики.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования служили:

- образцы водных экстрактов активаторов брожения О1 – Активит (состав: инактивированные дрожжи + диаммоний фосфат + тиамин), О2 – Истлайф Экстра (комплекс питательных веществ, включая растворимые протеины, аминокислоты, минералы и витамины), О3 – Биоклин (инактивированные дрожжи + инертный носитель), О4 – Шиха Спид Ферм (смесь неактивных дрожжей + витамины группы В + минеральные вещества (магний, цинк, марганец) + аминокислоты), О5 – Вита Ферм Ультра Ф3 (состав: инактивированные дрожжи + диаммоний фосфат + тиамин) [10];

- контрольные (К) и опытные образцы дистиллятов (О1, О2, О3, О4, О5), полученных из пяти партий кизила без использования и с использованием используемых активаторов.

В ходе приготовления дистиллятов на стадии подготовки сырья кизиловую мезгу разбавляли умягченной водой до уровня pH 3,2–3,5, сбраживали с использованием препарата активных сухих дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* «Red Fruit», дистилляцию сбраженного сырья осуществляли на установке периодического действия прямой сгонки Kothe Destillationstechnik (Германия) на экспериментальной базе отдела технологии крепких напитков ВНИИПБиВП.

Водные экстракты активаторов брожения получали путем смещивания сухого препарата и воды в соотношении 1 : 50, настаивания в течение 24 часов при периодическом перемешивании в течение 10 минут каждые 5–6 часов с последующим отделением жидкой фазы центрифугированием.

При исследовании биохимического состава водных экстрактов использовали следующие методы анализа: спектрофотометрическое определение растворимого белка (метод Лоури); определение аминного азота титрометрическим методом; определение растворимых форм фосфора – методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии.

Качественный состав и концентрацию летучих компонентов кизиловых дистиллятов определяли с использованием газовой хроматографии на приборе «Хроматэк-Кристалл 5000».

Органолептический анализ образцов дистиллятов осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 32051-2013 по 100-балльной системе.

Для обработки полученных экспериментальных данных использовали методы математической статистики с применением программного обеспечения Excel-2016.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее полученные данные по оценке биохимического состава плодов кизила выявили высокое содержание органических кислот (до 32 г/дм³) и довольно низкое значение pH в соке и мезге – не выше 3,0 [11]. Известно, что растворимость отдельных веществ изменяется в зависимости от активной кислотности среды. Так, при снижении значения pH в определенном интервале растворимость некоторых форм белков повышается. В связи с этим на первом этапе работы были проведены исследования влияния активной кислотности среды на переход компонентов активаторов брожения в раствор. Образцы экстрактов получали с использованием умягченной воды (pH 6,5–6,7) и воды, подкисленной лимонной кислотой до pH 3,2–3,5 (уровень подкисления соответствует активной кислотности кизиловой мезги после её разбавления умягченной водой).

Установлено, что снижение pH среды приводит к повышению в растворе общего содержания сухих веществ, в том числе растворимого белка, аминного азота и фосфора (таблица 1).

Полученные данные также свидетельствуют, что степень повышения растворимости отдельных веществ зависит от особенностей состава активатора. Так, концентрация растворимого белка при подкислении увеличивается в пределах 10–19 %, аминного азота возрастает на 4–13 %, фосфора – на 24–33 %.

РОЛЬ АКТИВАТОРОВ БРОЖЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРУКТОВЫХ (ПЛОДОВЫХ) ДИСТИЛЛЯТОВ

Таблица 1 – Влияние активной кислотности среды на переход компонентов активаторов брожения в раствор

Table 1 - Effect of the active acidity of the medium on the transition of the components of the fermentation activators into solution

Наименование показателя	Активит (O1)	Истлайф Экстра (O2)	Биоклин (O3)	Шиха Спид Ферм (O4)	Вита Ферм Ультра Ф3 (O5)
Концентрация сухих веществ, г/дм ³ : при pH 6,5–6,7 при pH 3,2–3,5	26,8	37,5	6,3	11,2	30,4
	31,7	42,4	14,1	18,5	36,2
Концентрация белка в растворе, мг/дм ³ : при pH 6,5–6,7 при pH 3,2–3,5	328	1810	245	610	1117
	367	2027	292	673	1260
Концентрация аминного азота в растворе, г/дм ³ : при pH 6,5–6,7 при pH 3,2–3,5	0,38	0,45	0,35	0,39	0,35
	0,43	0,47	0,39	0,44	0,37
Концентрация фосфора в растворе, мг/дм ³ : при pH 6,5–6,7 при pH 3,2–3,5	0,21	2,92	0,03	0,07	3,52
	0,27	3,61	0,04	0,09	4,62
Отношение «аминный азот/фосфор» в растворе: при pH 6,5–6,7 при pH 3,2–3,5	1,81	0,15	11,67	5,57	0,10
	1,59	0,13	9,75	4,89	0,08

Как установлено ранее, крепость сброшенной кизиловой мезги зависела от использованного активатора. Она была минимальной при внесении в мезгу активатора Биоклин (O3) и максимальной при добавлении препарата Шиха Спид Ферм (O4) [10]. Кроме того, было показано, что состав активатора влиял на изменение концентрации основных летучих компонентов.

На следующем этапе исследования из контрольного и опытных образцов сброшенной кизиловой мезги были получены дистилляты и рассчитан выход конечного продукта в пересчете на безводный спирт (рисунок 1). На рисунке приведены средние значения данного показателя из пяти партий кизила.

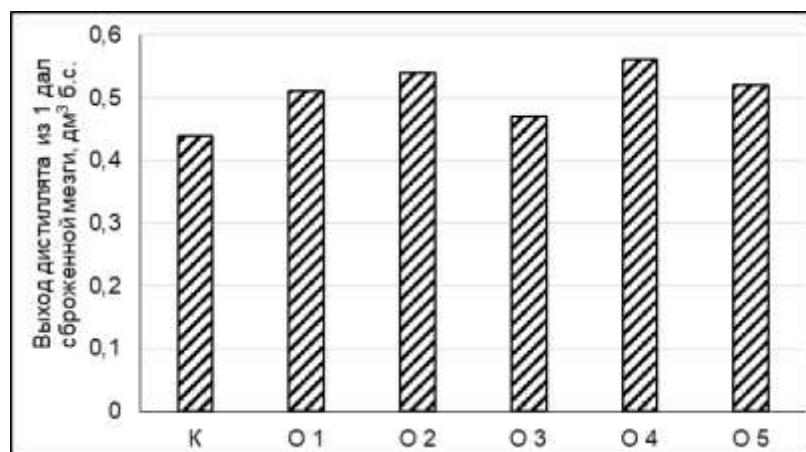


Рисунок 1 – Влияние активатора брожения на выход дистиллята из сброшенной кизиловой мезги
Figure 1 - The effect of the fermentation activator on the distillate yield from fermented dogwood pulp

Установлено, что внесение активаторов брожения в мезгу приводит к повышению выхода дистиллята. Максимальным выходом характеризовались образцы О2 и О4, полученные с применением препаратов Истлайф Экстра и Шиха Спид Ферм. Это обусловлено, во-первых, более высокой объемной долей этилового спирта в соответствующих образцах сброшенной мезги, во-вторых, с изменением процессов новообразования в кубе, приводящих к изменению объемов отбираемых головной и хвостовой фракций.

Основным потребительским свойством любой алкогольной продукции, в том числе пло-

довых водок, является их органолептическая характеристика. Поэтому в работе была проведена дегустация и дана органолептическая оценка всех полученных образцов кизиловых дистиллятов. По результатам газохроматографического анализа летучих компонентов кизиловых дистиллятов установлено, что образцы различались между собой по концентрации отдельных веществ. После математической обработки полученных результатов рассчитаны коэффициенты парной корреляции, характеризующие взаимосвязь между отдельными веществами и дегустационной оценкой кизилового дистиллята, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Качественный и количественный состав летучих компонентов кизиловых дистиллятов

Table 2 - Qualitative and quantitative composition of volatile components of dogwood distillates

Наименование показателя	Массовая концентрация, мг/дм ³ б.с.						R
	К	О1	О2	О3	О4	О5	
Ацетальдегид	189,8	302,2	147,9	304,3	314,4	161,8	-0,711
Изобутилальдегид	5,8	26,3	6,4	49,9	23,8	7,2	-0,445
Ацетон	2,7	8,8	1,5	9,9	7,2	1,7	-0,522
Этилформиат	1,4	9,3	2,1	6,4	3,1	1,8	-0,611
Этилацетат	42,7	63,7	45,6	58,5	58,3	49,0	-0,503
Метанол, г/дм ³	2,53	5,38	2,43	3,37	4,59	2,68	-0,688
Диацетил	0,0	2,2	1,5	6,3	3,4	1,7	-0,126
2-пропанол	2,3	6,8	6,8	8,0	13,0	6,3	0,022
1-пропанол	196,1	310,4	385,0	315,2	417,9	352,6	0,477
Изобутанол	1576,5	1580,2	1377,2	1852,1	2239,3	1987,7	0,073
Изоамилацетат	6,5	6,3	9,8	7,5	9,1	11,5	0,586
1-бутанол	7,2	46,2	33,2	41,6	46,9	47,6	0,229
Изоамилол	2487,5	4447,4	4082,1	4336,0	6187,3	4729,5	0,163
Этилкапроат	2,0	5,9	15,2	10,2	9,2	18,3	0,926
Этиллактат	0,8	2,5	1,6	2,2	2,9	1,7	-0,230
Гексанол	2,3	11,6	6,8	6,7	7,5	8,2	-0,030
Этилкаприлат	9,5	26,8	35,6	28,8	32,2	31,1	0,544
Этилкапрат	2,4	5,2	12,5	8,0	7,2	15,2	0,941
Фенилэтиловый спирт	6,2	19,5	21,4	12,5	27,3	11,8	0,004
Сумма ЛК	4541,7	6881,3	6193,0	7064,1	9482,0	7420,7	0,126
Альдегиды и кетоны	198,3	337,3	156,6	364,1	417,4	146,7	-0,555
Высшие спирты	4271,9	6402,6	5891,1	6559,6	8911,9	7131,9	0,169
Сложные эфиры	65,3	119,7	122,4	121,6	122,0	128,6	0,456
Сумма энантовых эфиров	13,9	37,9	63,3	47,0	48,6	64,6	0,801
Расчетные показатели							
Сумма энантовых эфиров/Сумма сл. эфиров	0,21	0,32	0,50	0,38	0,40	0,50	0,868
1-пропанол /изобутанол+изоамилол	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,565
Органолептическая оценка							
Оценка, баллы	84,5	84,0	86,5	85,0	85,0	87,0	

РОЛЬ АКТИВАТОРОВ БРОЖЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРУКТОВЫХ (ПЛОДОВЫХ) ДИСТИЛЛЯТОВ

По результатам органолептической оценки все образцы соответствовали типу дистиллята. Наиболее высокие дегустационные баллы получили образцы дистиллятов О2 и О5, которые характеризовались чистым ароматом с выраженным тонами кизила, с цветочно-фруктовыми оттенками и мягким гармоничным вкусом.

Полученные данные свидетельствуют о том, что внесение активаторов брожения приводит к повышению суммарного содержания летучих компонентов в 1,4–2,1 раза, в основном за счет высших спиртов и сложных эфиров, в том числе энантовых. Отмечено повышение концентрации ацетальдегида в отдельных

опытных образцах, что может быть связано с несбалансированным азотным и фосфорным составом соответствующих активаторов.

Проведенный корреляционный анализ позволил установить наиболее значимые летучие компоненты, массовая концентрация которых может быть использована в качестве маркеров при оценке состава активаторов брожения в аспекте их влияния на качественные характеристики фруктовых (плодовых) дистиллятов. Такими показателями выбраны массовые концентрации ацетальдегида ($R = -0,711$), метанола ($R = -0,688$) и расчетный показатель «отношение суммы энантовых эфиров к сумме сложных эфиров» ($R = 0,868$).

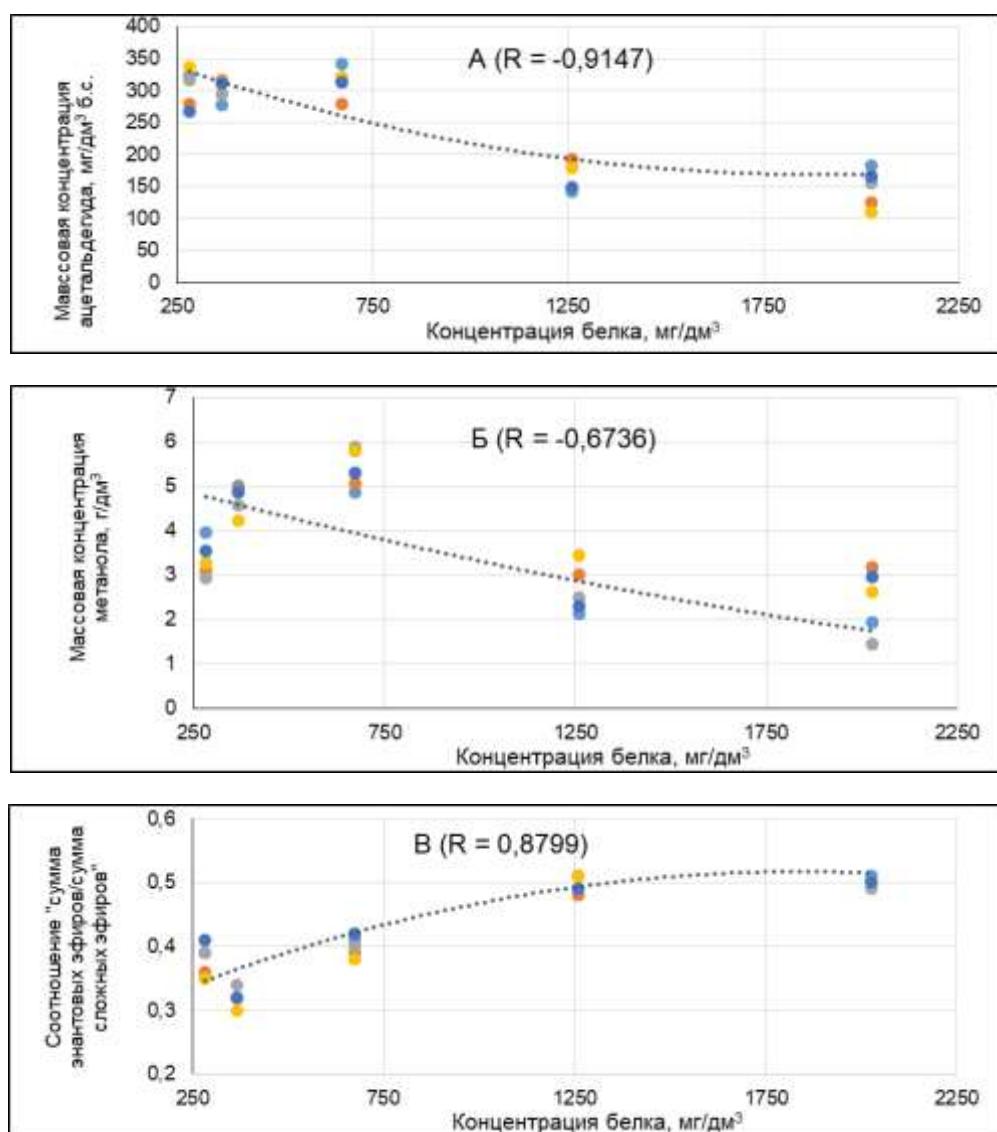


Рисунок 2 – Влияние концентрации белка в растворе на содержание ацетальдегида (А), метанола (Б) и соотношение «сумма энантовых эфиров / сумма сложных эфиров» (В)

Figure 2 - Effect of protein concentration in solution on the content of acetaldehyde (A), methanol (B) and the ratio "sum of enantiotopic esters/ sum of esters" (C)

На завершающем этапе работы с использованием методов математической статистики было оценено влияние отдельных компонентов активаторов брожения, переходящих в экстракт, на величину выбранных в качестве маркеров показателей физико-химического состава кизиловых дистиллятов, полученных, как отмечалось ранее, из пяти партий кизила. Рассматривали возможное влияние содержания растворимого белка, фосфора, аминного азота в жидкой фазе, полученной из исследуемых активаторов брожения, а также соотношения «каминный азот / фосфор» на эти показатели.

Представленные в графической интерпретации (рисунок 2) результаты двухфакторного корреляционного анализа показали высокую степень зависимости концентрации ацетальдегида ($R = -0,9147$) и соотношения «сумма энантовых эфиров/сумма сложных эфиров» ($R = 0,8799$) в дистилляте от концентрации белка в растворе. В меньшей степени выявлена зависимость концентрации метанола от этого показателя ($R = -0,6736$). Та же установлена высокая корреляционная взаимосвязь между концентрацией фосфора в активаторе и качественными показателями кизиловых дистиллятов (рисунок 3).

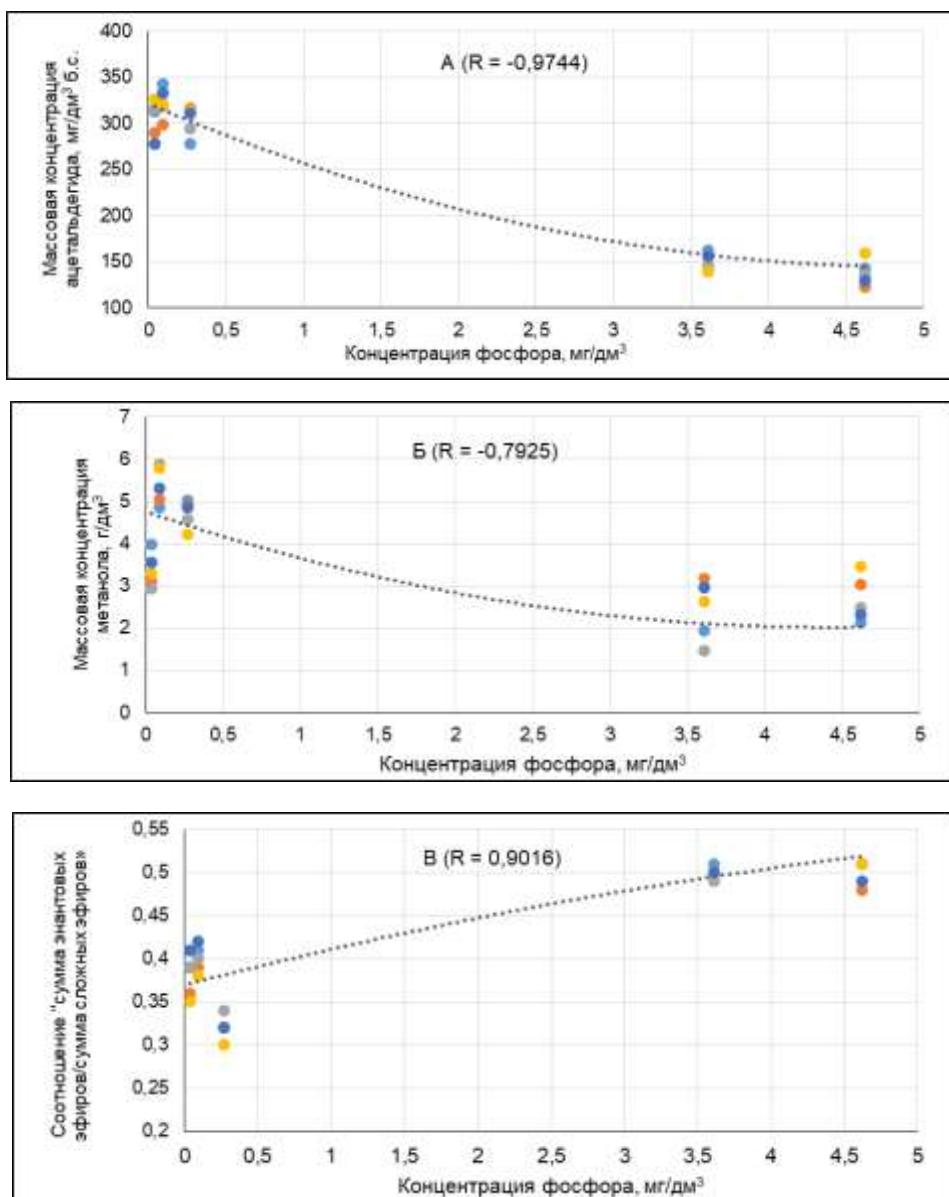


Рисунок 3 – Влияние концентрации фосфора в растворе на содержание ацетальдегида (А), метанола (Б) и соотношение «сумма энантовых эфиров / сумма сложных эфиров» (В)

Figure 3 - Effect of phosphorus concentration in solution on the content of acetaldehyde (A), methanol (B) and the ratio "sum of enantiotopic esters / sum of esters" (C)

РОЛЬ АКТИВАТОРОВ БРОЖЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРУКТОВЫХ (ПЛОДОВЫХ) ДИСТИЛЛЯТОВ

Графический материал свидетельствует о том, что применение активаторов с повышенным содержанием фосфора при сбраживании кизиловой мезги приводит к существенному снижению массовых концентраций ацетальдегида и метанола в дистиллятах. Данные летучие вещества, как известно, отрицательно влияют на качественные характеристики спиртных напитков. Кроме того, концентрация метанола в конечном продукте является также показателем его безопасности и не должна превышать нормируемого значения.

Соотношение «сумма энантовых эфиров / сумма сложных эфиров» характеризует направленность синтеза различных групп эфиров в сторону увеличения высококипящих (энантовых) – этилкапроата, этилкаприлата и этилкапрата, которые отвечают за цветочные и так называемые «мыльные» оттенки в аромате и вкусе.

Результаты математической обработки экспериментальных данных показали, что содержание аминного азота в активаторе не оказывает влияния на выбранные показатели физико-химического состава кизиловых дистиллятов ($R < 0,2$).

Ранее было показано, что использование при сбраживании кизиловой мезги активаторов брожения, в составе которых соотношение «аминный азот / фосфор» находится на уровне 0,07–0,10, позволяет получить сброшенное сырьё с оптимальным содержанием летучих компонентов [10]. Математическая обработка подтвердила сделанный ранее вывод, однако расчетные коэффициенты парной корреляции для этого соотношения и выбранных маркеров оказались ниже по сравнению с приведенными на рисунках 2, 3: для массовой концентрации ацетальдегида $R = 0,7069$, для концентрации метанола $R = 0,2890$, для соотношения «сумма энантовых эфиров / сумма сложных эфиров» $R = -0,4870$.

ВЫВОДЫ

В целом в результате проведенного исследования установлено влияние состава активаторов брожения на выход дистиллята из сброшенной кизиловой мезги и его качественные характеристики.

1. Установлено, что в среде с активной кислотностью, соответствующей значению pH кизиловой мезги, разбавленной водой в соотношении 1:1, повышается растворимость белка на 10–19 %, аминного азота – на 4–13 %,

фосфора – на 24–33 %, по сравнению с нейтральной средой.

2. Показано, что внесение активаторов брожения в мезгу приводит к повышению выхода дистиллята от 7 до 27 % в пересчете на безводный спирт по сравнению с контролем. Максимальным выходом характеризовались образцы, полученные с применением препаратов Истлайф Экстра и Шиха Спид Ферм.

3. Выявлено влияние различных активаторов брожения на качественные показатели кизиловых дистиллятов, включая состав и концентрацию летучих компонентов, а также органолептическую оценку.

4. В качестве маркеров для оценки влияния состава активаторов брожения на качество кизилового дистиллята с использованием корреляционного анализа выбраны массовые концентрации ацетальдегида, метанола и расчетный показатель «отношение суммы энантовых эфиров к сумме сложных эфиров».

5. Результаты двухфакторного корреляционного анализа показали высокую степень зависимости выбранных маркеров от концентрации растворимых форм белка и фосфора в активаторе брожения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оганесянц Л.А., Панасюк А.Л., Рейтблат Б.Б. Теория и практика плодового виноделия. М. : Промышленно-консалтинговая группа «Развитие», 2011. 396 с.
2. Дубинина Е.В., Осипова В.П., Трофимченко В.А. Влияние способа подготовки сырья на состав летучих компонентов и выход дистиллятов из малины // Пиво и напитки, 2018. №1. С. 28–32.
3. Макаров С.С., Панасюк А.Л. Влияние различных способов мацерации ягодной мезги на состав биологически активных веществ сусла // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2019. № 1(54). С. 59–64.
4. Дубинина Е.В., Крикунова Л.Н., Трофимченко В.А., Томгорова С.М. Сравнительная оценка способов сбраживания кизила при производстве дистиллятов // Пиво и напитки. 2020. № 2. С. 45–49. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10020>.
5. Ли Э., Пигготт Дж. Спиртные напитки: Особенности брожения и производства / Э.Ли, Дж. Пигготт (ред.); перевод с англ. под общ. ред. А.Л. Панасюка. СПб. : Профессия. 2006. С. 252–270.
6. Оганесянц Л.А., Песчанская В.А., Дубинина Е.В., Небежев К.В. Разработка технологии дистиллятов из плодов мандарина // Актуальные вопросы индустрии напитков. 2019. Т. 3. С. 156–161. <https://doi.org/10.21323/978-5-6043128-4-1-2019-3-156-161>.
7. Алексеенко Е.В. Ферментативная биоконверсия плодово-ягодного сырья: биохимические

асpekты и практическое применение // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 3. С. 49–52.

8. Волчок А.А., Рожкова А.М., Зоров И.Н., Щербаков С.С., Синицын А.П., Бушина Е.В. Использование ферментных комплексов нового поколения для обработки различных плодово-ягодных субстратов // Виноделие и виноградарство. 2012. № 1. С. 20–21.

9. Исмаилов Х.С. Исследования характеристики некоторых рас дрожжей для плодового виноделия // Виноделие и виноградарство. 2016. № 3. С. 18–20.

10. Оганесянц Л.А., Крикунова Л.Н., Дубинина Е.В., Швец С.Д. Оценка перспектив применения активаторов брожения в технологии дистиллятов из плодов кизила // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 24–30. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.004>.

11. Песчанская В.А., Дубинина Е.В., Крикунова Л.Н., Трофимченко В.А. Оценка биохимического состава плодов кизила как сырья для производства дистиллятов // Пиво и напитки, 2020. № 1. С. 44–47. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10009>.

Информация об авторах

Е. В. Дубинина – к.т.н., ведущий научный сотрудник отдела технологии крепких напитков ВНИИБиВП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

Л. Н. Крикунова – д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник отдела технологии крепких напитков ВНИИБиВП – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

REFERENCES

1. Oganesyants, L.A., Panasyuk, A.L. & Reitblat, B.B. (2011). Theory and practice of fruit winemaking. Moscow: Industrial consulting group "Development". (In Russ.).
2. Dubinina, E.V., Osipova, V.P. & Trofimchenko, V.A. (2018). Vliyanie sposoba podgotovki syr'ya na sostav letuchih komponentov i vyhod distillyatov iz maliny. *Beer and beverages*, (1), 28-32. (In Russ.).
3. Makarov, S.S. & Panasyuk, A.L. (2019). Influence of various methods of maceration of berry pulp on the composition of biologically active substances of wort. Technology and commodity science of innovative food products, 1(54), 59-64. (In Russ.).
4. Dubinina, E.V., Krikunova, L.N., Trofimchenko, V.A. & Tomgorova, S.M. (2020). Comparative evaluation of the cornel berry fermentation methods in

the production of distillates. *Beer and beverages*, 2, 45-49. (In Russ.).

5. Lea, G.H. & John R., Piggott. (2006). Fermented Beverage Production. translated from English. under the general editorship of A.L. Panasyuk. St. Petersburg: Profession. (In Russ.).

6. Oganesyants, L.A., Peschanskaya, V.A., Dubinina, E.V. & Nebezhev, C.V. (2019). Development of Tangerine fruits distillate technology. *Topical issues of the beverage industry*, 3, 156-161. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/978-5-6043128-4-1-2019-3-156-161>.

7. Alekseenko, E.V. (2012). Enzymatic bioconversion of fruit and berry raw materials: biochemical aspects and practical application. *Storage and processing of agricultural raw materials*, 3, 49-52. (In Russ.).

8. Volchok, A.A., Rozhkova, A.M., Zorov, I.N., Shcherbakov, S.S., Sinitsyn, A.P. & Bushina, E.V. (2012). The use of enzyme complexes of a new generation for processing various fruit and berry substrates. *Winemaking and viticulture*, 1, 20-21. (In Russ.).

9. Ismailov, H.S. (2016). Studies of the characteristics of some yeast races for fruit winemaking. *Winemaking and viticulture*, 3, 18-20. (In Russ.).

10. Oganesyants, L.A., Krikunova, L.N., Dubinina, E.V. & Shvets, S.D. (2020). Evaluation of the fermentation activators use prospects in the technology of cornelian cherries distillates. *Polzunovsky vestnik*, 3, 24-30. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.004>. (In Russ.).

11. Peschanskaya, V.A., Dubinina, E.V., Krikunova, L.N. & Trofimchenko, V.A. (2020). Assessment of the biochemical composition of dogwood fruits as a raw material for distillate production. *Beer and beverages*, (1), 44-47. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10009>. (In Russ.).

Information about the authors

E.V. Dubinina - PhD in Engineering sciences, Leading researcher of All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry - Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

L.N. Krikunova - Grand PhD in (Technical) sciences, professor, Leading researcher of All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry - Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

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

Статья поступила в редакцию 08.11.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 08 Nov 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ рН НА ПОКАЗАТЕЛИ ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ *BACILLUS*

Иван Юрьевич Евдокимов¹, Алена Николаевна Иркитова²,
Ангелина Владимировна Малкова³, Дина Евгеньевна Дудник⁴,
Максим Вячеславович Ширманов⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

¹ ivan.evdkimov.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6218-3151>

² elen171987@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2664-1995>

³ gelishka96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4053-036X>

⁴ dudnik-dina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2086-8144>

⁵ maks-shirmanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1628-2546>

Аннотация. При разработке биопрепаратов актуальной задачей промышленного производства является ускорение процесса ферментации, усовершенствование условий производства, а также наибольший выход целевого продукта за меньшее количество циклов. На глубинное культивирование бактерий влияют состав питательных сред, температура, время культивирования, доза инокулята, особенности штамма микроорганизма, кислотность среды и многие другие. Активная кислотность питательной среды влияет на скорость биохимических реакций в клетке, потребление субстратов и накопление биомассы. Установление оптимального для роста бактерий рН также позволяет скорректировать технологические условия промышленного глубинного культивирования в биореакторах и продлить период активного накопления биомассы. Цель исследования заключалась в определении оптимальной активной кислотности среды при глубинном культивировании бактерий *B. pumilus* B-13250 и *B. toyonensis* B-13249 для дальнейшего опытно-промышленного культивирования в условиях ферментеров.

Объектами исследования явились два штамма: *B. toyonensis* и *B. pumilus*, из коллекции ИЦ «Промбиотех» АлтГУ. Использовались стандартные среды для глубинного (L-бульон) и поверхностного (твердая L-среда) культивирования. Глубинное культивирование проводилось в шейкере-инкубаторе «Innova 44», в качалочных колбах. Для определения оптимального рН изучались варианты установок: 5,6, 6,2, 6,8, 7,4; температура культивирования – 37 °С, скорость перемешивания – 250 об/мин, 24 ч – время культивирования.

В результате работ выяснено, что оптимальный показатель активной кислотности среды для культивирования обоих исследуемых штаммов составил 6,8. Оба штамма способны расти и размножаться при отклонениях от оптимума: в значениях рН от 5,6, до 7,4. Также стало понятно, что при использовании данных микроорганизмов в качестве основы пробиотиков есть возможность выбора большего диапазона условий жизни относительно кислотности внешней среды.

Ключевые слова: *Bacillus pumilus*, *Bacillus toyonensis*, водородный показатель, глубинное культивирование, ферментация, пробиотики, биореактор, биопродукты.

Благодарности: авторы выражают благодарность всему коллективу Инжинирингового центра «Промбиотех» за помощь в проведении исследований.

Для цитирования: Влияние уровня рН на показатели глубинного культивирования пробиотических штаммов *Bacillus* / И. Ю. Евдокимов [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 29–36. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.004. EDN: <https://elibrary.ru/ERQKFM>.

Original article

NFLUENCE OF pH LEVEL ON INDICATORS OF DEEP CULTURING OF *BACILLUS* PROBIOTIC STRAINS

Ivan Yu. Evdokimov ¹, Alena N. Irkitova ², Angelina V. Malkova ³,
Dina E. Dudnik ⁴, Maksim V. Shirmanov ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Altai State University, Barnaul, Russia

¹ ivan.evdokimov.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6218-3151>

² elen171987@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2664-1995>

³ gelishka96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4053-036X>

⁴ dudnik-dina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2086-8144>

⁵ maks-shirmanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1628-2546>

Abstract. The active acidity of the nutrient medium affects the rate of biochemical reactions in the cell, the consumption of substrates and the accumulation of biomass. The purpose of this study was to determine the optimal active acidity of the medium during submerged cultivation of bacteria *B. pumilus* B-13250 and *B. toyonensis* B-13249 for further experimental-industrial cultivation under fermenter conditions and using probiotic preparations as the basis.

The objects of the study were two strains of rhizospheric spore bacteria: *B. toyonensis* and *B. pumilus*, from the collection of the Research Center «Prombiotech» AltSU. Standard media were used for deep (L-broth) and surface (solid L-medium) cultivation. Deep cultivation was carried out in an «Innova 44» shaker-incubator, in rocking flasks. To determine the optimal pH, options for settings were studied: 5.6, 6.2, 6.8, 7.4; cultivation temperature - 37 °C, stirring speed - 250 rpm, 24 h - cultivation time.

As a result of the work, it was found that the optimal indicator of the active acidity of the medium for cultivating both studied strains was 6.8. Both strains are able to grow and develop with deviations from the optimum: in pH values from 5.6 to 7.4.

Keywords: *Bacillus pumilus*, *Bacillus toyonensis*, pH value, deep cultivation, fermentation, probiotics, bioreactor, bioproducts.

Acknowledgements: the authors express their gratitude to the entire staff of the Engineering Center «Prombiotech» for their help in conducting research.

For citation: Evdokimov, I.Yu., Irkitova, A.N., Malkova, A.V., Dudnik, D.E. & Shirmanov, M.V. (2023). Nfluence of pH level on indicators of deep culturing of bacillus probiotic strains. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 29-36. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.004. EDN: <https://elibrary.ru/ERQKFM>.

ВВЕДЕНИЕ

Производство современных отечественных биопрепаратов – стратегически важная задача для науки, промышленности, сельского хозяйства и экономики страны в целом. При этом в промышленном производстве бактериальных препаратов важнейшими задачами являются ускорение процесса ферментации, усовершенствование условий производства, а также наибольший выход целевого продукта [1–4]. На качество и эффективность глубинного культивирования бактерий влияют различные факторы: состав питательных сред, температура, время культивирования, доза инокулята, особенности штамма микроорганизма, кислотность среды и многие другие. В связи с этим большое количество современных научных работ посвящено оптимизации условий культивирования путем их изменения для благоприятного роста организмов [5–7].

Цикл развития бактериальной культуры начинается с помещения инокулята в благоприятную среду для ее роста. Активная кислотность питательной среды влияет на скорость биохимических реакций в клетке, потребления субстратов и накопление биомассы. многими учеными [8–12] установлено, что значение pH в нейтральном положении (6,5–7,5) является благоприятным для роста бактерий рода *Bacillus*, поддержание заданного pH, на благоприятном для клеток уровне, позволяет продлить фазу активного роста спорообразующих микроорганизмов. При производстве биологических препаратов установление оптимальной для роста бактерий активной кислотности культуральной

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2023

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ рН НА ПОКАЗАТЕЛИ ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ *BACILLUS*

жидкости также позволяет скорректировать технологические условия промышленного глубинного культивирования бактерий в биореакторах и, таким образом, продлить период активного накопления биомассы. При отсутствии поддержания значений активной кислотности на оптимальном для бактерий уровне быстро происходит закисление культуральной жидкости за счет экспрессии в среду метаболитов обмена клеток и, как следствие, – ингибирование роста.

Цель данной работы: определение оптимальной активной кислотности среды при глубинном культивировании спорообразующих бактерий *B. pumilus* B-13250 и *B. toyonensis* B-13249, для дальнейшего их опытно-промышленного культивирования в условиях биореактора и использования в качестве основы пробиотических препаратов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования: штамм *B. pumilus* B-13250, выделенный из ризосфера р. *Cichorium*, штамм *B. toyonensis* B-13249 – из ризосфера р. *Helianthus* (коллекция ИЦ «Промбиотех» АлтГУ).

Питательные среды: L-бульон в качестве основной среды для глубинного культивирования в колбах, на основе пептона и дрожжевого экстракта. Твердая L-среда для контроля численности микроорганизмов. Эндо-среда для санитарного контроля.

Глубинное культивирование каждого штамма проводили в шейкере-инкубаторе «Innova 44» (New Brunswick, USA). Культивирование проводилось в качалочных колбах Эрленмейера объемом 500 мл, с заполнением 200 мл культуральной жидкости. Эксперименты проводились в 5-кратной повторности.

Исследованные значения рН среды для культивирования: 5,6, 6,2, 6,8, 7,2; температура культивирования составляла 37 °C, скорость перемешивания – 250 об/мин, 24 ч – время культивирования, эксцентрикситет платформы – 5 см. Для корректирования значений рН среды использовался 20%-й раствор гидроокиси натрия. Для измерения рН

использовали стационарный рН-метр «FG2» (Mettler-Toledo, Switzerland).

В первоначально простерилизованной жидкой L-среде измерялся рН, доводился до задаваемого значения (5,6, 6,2, 6,8, 7,4), после чего производился посев инокулятом. Через 1 час культивирования колбы вынимались из шейкера, стерильно производился замер и корректировка уровня рН. Следующий замер и корректировка производились через 4 инкубации. Окончательный результат измерялся по истечении суток культивирования (24 ч), где дополнительно производилась микроскопия каждого образца, измерение оптической плотности (OD490) и учет численности бактерий высеиванием на твердую питательную среду с применением метода десятикратных разведений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После первого часа культивирования штамма *B. pumilus* B-13250 практически во всех исследуемых вариантах, за исключением изначально сверхнизкого – 5,6, показатель активной кислотности стал понижаться, поэтому производилась корректировка кислотности в вариантах 6,2, 6,8, 7,4 до первоначально заданной отметки. Через 4 часа культивирования уровень кислотности в варианте со значением рН в 5,6 также остался на прежнем уровне. При этом в вариантах с исходными значениями рН среды 6,2, 6,8, 7,4 наблюдалось повышение уровня кислотности. Особенно значительно кислотность увеличилась в вариантах со значениями предустановок 6,8 и 7,4: до 5,99($\pm 0,03$) и 6,43($\pm 0,04$) соответственно. Это может быть связано с тем, что при данных значениях рН культура развивалась активнее и окисляющих продуктов обмена выделяла больше.

После измерений следовала корректировка целевых заданных параметров рН, колбы снова ставились в шейкер-инкубатор для продолжения культивирования. Через 24 часа по окончании эксперимента колбы снимались и замерялись конечные значения показателей. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические показатели культивирования *B. Pumilus* B-13250 при разных вариантах pH среды

Table 1 - Technological indicators of cultivation of *B. pumilus* B-13250 at different pH conditions

рН	рН в момент куль-я			ОП, 24 ч	Микроскопия, 24 ч	Морфология колоний, 24 ч
	1 ч	4 ч	24 ч			
Ино-кулят				7,32 (±0,22)	1,025 (±0,173)	
5,6	5,60 (±0,01)	5,63 (±0,02)	6,69 (±0,15)	0,382 (±0,065)		
6,2	6,17 (±0,03) ↑	5,75 (±0,12) ↑	7,05 (±0,48)	0,530 (±0,114)		
6,8	6,52 (±0,06) ↑	5,99 (±0,03) ↑	7,00 (±0,06)	0,849 (±0,080)		
7,4	7,14 (±0,04) ↑	6,43 (±0,04) ↑	7,10 (±0,15)	0,628 (±0,059)		

При окончании культивирования показатель pH был в нейтральных значениях во всех исследуемых вариантах, самый низкий показатель зафиксирован при pH 5,6 – 6,69(±0,15). Это говорит, что параметры оптимального роста культуры стремятся в нейтральное положение, только при корректировке в 5,6 требуется длительное время и складываются неблагоприятные условия для оптимального роста. При этом наибольшая

оптическая плотность наблюдается в варианте с pH = 6,8 и равна 0,849(±0,080), что на 2 десятых значения выше от ближайшего в установке 7,4 (0,628(±0,059)). По микроскопии отмечено, что при культивировании на всех вариантах pH среды в течение 24 часов роста все клетки находятся в активной вегетативной форме. Визуально принципиальной разницы в количестве или размерах клеток не обнаружено, что подтверждает возможность

**ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ рН НА ПОКАЗАТЕЛИ ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ
ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ *BACILLUS***

развития данного штамма при разных значениях рН. Морфология колоний при разных значениях рН также однородна.

Результаты исследования оптимального уровня кислотности для культивирования штамма *B. toyonensis* B-13249 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технологические показатели культивирования *B. toyonensis* B-13249 при разных вариантах рН среды

Table 2 - Technological indicators of cultivation of *B. toyonensis* B-13249 at different pH conditions

рН	рН в момент культ-я			ОП, 24 ч	Микроскопия, 24 ч	Морфология колоний, 24 ч
	1 ч	4 ч	24 ч			
Ино- кулят			7,32 (±0,20)	1,024 (±0,215)		
5,6	5,68 (±0,05)	5,20 (±0,03)↑	7,02 (±0,21)	0,759 (±0,106)		
6,2	6,13 (±0,01) ↑	5,30 (±0,02)↑	6,98 (±0,13)	0,656 (±0,107)		
6,8	6,57 (±0,08) ↑	5,80 (±0,07)↑	7,05 (±0,24)	0,991 (±0,076)		
7,4	7,14 (±0,09) ↑	6,28 (±0,12)↑	7,32 (±0,11)	0,745 (±0,137)		

У штамма *B. toyonensis* B-13249 после первого часа культивирования также при установках 6,2, 6,8, 7,4 показатель активной

кислотности стал понижаться (произошли корректировки), при показателе 5,6 кислот-

ность незначительно понизилась ($5,68(\pm 0,05)$), и корректировки pH не производилось.

Через 4 часа культивирования сдвиг в кислую сторону pH произошел во всех вариантах установок, включая и изначально низкую – с 5,6 до $5,20(\pm 0,03)$. Наибольшее отклонение произошло при установке 7,4 до $6,28(\pm 0,12)$, что само по себе больше целого значения в единицу ($1,12(\pm 0,12)$), что тоже соответствует наиболее предрасположенным условиям жизни данной культуры.

При окончании культивирования (24 часа) наибольшее значение pH было при установке в $7,4-7,32(\pm 0,11)$, что, в свою очередь, говорит о том, что значение установки в 7,4 также не совсем благоприятно сказывается для роста культуры, и микроорганизмы стремятся понизить задаваемое значение.

Аналогичные данные у культуры *B. toyonensis* B-13249 при установке pH в 6,8, значение оптической плотности – $0,991(\pm 0,076)$ значительно больше ближайшего значения – $0,759(\pm 0,106)$, как ни странно, получившейся при установке в 5,6, что может объясняться более продолжительным временем для восстановления кислотности среды.

По микроскопии отмечено, что при культивировании на всех вариантах pH среды в течение на 24 часов роста все клетки находятся в активной вегетативной форме. При визуальной оценке наибольшее их количество наблюдалось в пробе с предустановленным pH в 6,8, оптическая плотность в данной пробе была также самой большой – $0,991(\pm 0,076)$. Морфология колоний данного штамма при разных значениях pH однородна.

Таким образом, через 24 часа культивирования значение активной кислотности стремится к нейтральному положению, и в вариантах 5,6, 6,2, 6,8 значение pH у обоих исследуемых штаммов переросло изначально заданный уровень. При установке же 7,4 лишь в некоторых повторностях у *B. toyonensis* B-13249 значение незначительно (на 0,01), превышало задаваемый параметр. В исследованиях *B. pumilus* B-13250 значение в 7,4 не достигалось ни разу. Это говорит о том, что оптимальный pH среды для культивирования исследуемых штаммов находится в стандартном для большинства бактерий нейтральном значении.

Наибольшее количество живых клеток обнаружено при культивировании штаммов на среде с pH = 6,8: *B. pumilus* B-13250 – $3,65(\pm 0,75) \times 10^9$, *B. toyonensis* B-13249 – $1,25(\pm 0,80) \times 10^9$. При этом наименьшие значения у штамма *B. pumilus* B-13250 – $2,15(\pm 1,15) \times 10^9$ наблюдались при pH среды 5,6, а у *B. toyonensis* B-13249 – $5,40(\pm 2,73) \times 10^8$ при pH среды 7,4 (рисунок 1).

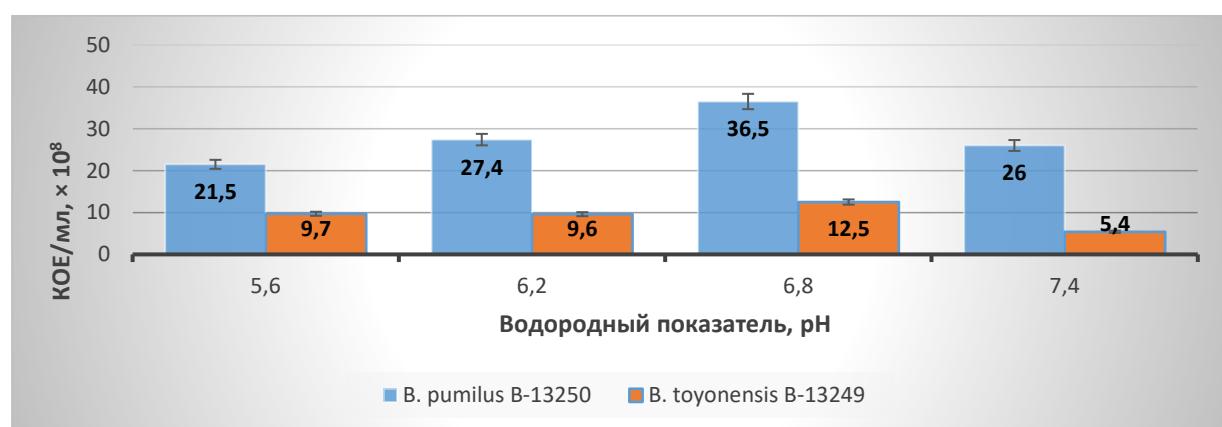


Рисунок 1 – Влияние кислотности среды культивирования на количество *B. pumilus* B-13250 и *B. toyonensis* B-13249

Figure 1 - The influence of the acidity of the cultivation medium on the number of *B. pumilus* B-13250 and *B. toyonensis* B-13249

Таким образом, для дальнейших исследований глубинного культивирования обоих исследуемых штаммов в условиях биореактора оптимальным вариантом pH среды является 6,8, что косвенно говорит об их биосовместимости и о возможности их совместного использования в качестве основы биологических препаратов. Но следует отметить,

что при всех исследуемых установках активной кислотности среды, культуры микроорганизмов сохранили жизнеспособность, ни в одном эксперименте не наблюдалось массовой гибели. Полученные данные о возможностях роста и развития культур при разных значениях pH свидетельствуют о перспективности включения обоих штаммов в состав биопрепарата.

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ РН НА ПОКАЗАТЕЛИ ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ *BACILLUS*

логических препаратов. Оптимизация глубинного культивирования бактерий с помощью корректировки pH среды позволяет решить одну из биотехнологических задач по получению многокомпонентных пробиотических препаратов путем увеличения продуктивности (количества клеток с 1 цикла ферментации), что, в свою очередь, повышает экономическую эффективность производства.

ВЫВОДЫ

1. Оптимальный показатель активной кислотности среды для культивирования штамма *B. pumilus* B-13250: 6,8.
2. Оптимальный показатель активной кислотности среды для культивирования штамма *B. toyonensis* B-13249: 6,8.
3. Оба исследуемых штамма способны расти и развиваться при отклонениях от оптимума: в значениях pH от 5,6, до 7,4.
4. При использовании данных микроорганизмов в качестве основы пробиотика появляется возможность большего выбора диапазона условий по кислотности внешней среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пискаева А.И., Просеков А.Ю. Оптимизация параметров культивирования консорциума микроорганизмов – деструкторов кератина в биотехнологических целях // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2016. Т. 16. С. 53–61.
2. Оптимизация среды культивирования амидазосодержащих бактерий / Ю.Г. Максимова [и др.] // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2017. № 2. С. 193–199.
3. Фирсова М.С., Евграфова В.А., Потехин А.В. Подбор питательной среды и оптимизация режима глубинного культивирования *Avibacterium paragallinarum* // Ветеринария сегодня. 2019. № 2. С. 12–16. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2019-2-29-12-16>.
4. Оптимизация технологии производства пробиотика на основе споровых бактерий *Bacillus pumilus* B-13250 и *Bacillus toyonensis* B-13249 / И.Ю. Евдокимов [и др.] // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. 2022. Т. 18. № 3. С. 20–27.
5. Optimization of fermentation medium for acetoin production by *Bacillus subtilis* sf4-3 using statistical methods / Y. Tian [et al.] // Preparative Biochemistry and Biotechnology. 2014. Vol. 44. No 5. P. 529–543. <https://doi.org/10.1080/10826068.2013.835731>.
6. The optimization of fermentation conditions for producing cellulase of *Bacillus amyloliquefaciens* and its application to goose feed / M. Ye [et al.] // R. Soc. open sci. 2017. Vol. 4. 171012. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.171012>.
7. Подбор оптимальных параметров культивирования штаммов молочнокислых бактерий, перспективных в качестве стартерных культур при разработке закваски прямого внесения / Э. Назыбеккызы [и др.] // International journal of applied and fundamental research. 2019. № 7. С. 14–18.
8. Lincoln L., More S.S. Comparative evaluation of extracellular b-D-fructofuranosidase in submerged and solid-state fermentation produced by newly identified *Bacillus subtilis* strain // Journal of Applied Microbiology. 2018. No 125. P. 441–456. <https://doi.org/10.1111/jam.13881>.
9. Мартынова К.В. Бактериологическая идентификация бактерий *Bacillus coagulans*, выделенных из томатов и томатосодержащих продуктов питания // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2019. № 2. С. 9–13. <https://doi.org/10.24411/2074-5036-2019-10019>.
10. Effects of solution pH and Ions on suicidal germination of *Bacillus subtilis* spores induced by medium high temperature-medium high hydrostatic pressure treatment / K. Morimatsu [et al.] // Biocontrol Science. 2019. Vol. 24. № 3. P. 167–172.
11. Optimization of Culture Conditions for Protease Production using Three Strains of *Bacillus*. / C.J. Morabandza [et al.] // Journal of Pure and Applied Microbiology. 2021. Vol. 15. No 2. P. 621–629. <https://doi.org/10.22207/JPAM.15.2.05>.
12. Xylanase from thermotolerant *Bacillus haynei* strain, synthesis, characterization, optimization using Box-Behnken Design, and biobleaching activity. / M.M. Bakry [et al.] // Biomass Conversion and Biorefinery. 2022. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03043-6>.

Информация об авторах

И. Ю. Евдокимов – и.о. заместителя директора, младший научный сотрудник ИЦ «Промбиотех» Алтайского государственного университета.

А. Н. Иркитова – кандидат биологических наук, директор, ведущий научный сотрудник ИЦ «Промбиотех» Алтайского государственного университета.

А. В. Малкова – аспирант кафедры экологии и биотехнологии, младший научный сотрудник ИЦ «Промбиотех» Алтайского государственного университета.

Д. Е. Дудник – аспирант кафедры экологии и биотехнологии, лаборант-исследователь ИЦ «Промбиотех» Алтайского государственного университета.

М. В. Ширманов – младший научный сотрудник ИЦ «Промбиотех» Алтайского государственного университета.

REFERENCES

1. Piskaeva, A.I. & Prosekov, A.YU. (2016). Optimizaciya parametrov kul'tivirovaniya konsorciuma mikroorganizmov – destruktory keratina v biotekhnologicheskikh celyah. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Biologiya. Eko-logiya».* (16). 53-61. (In Russ.).
2. Maksimova, YU.G., Garina, A.A., Vasilev, D.M. & Maksimov, A.YU. (2017). Optimizaciya sredy kul'tivirovaniya amidazosoderzhashchih bakterij. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya.* (2). 193-199. (In Russ.).
3. Firsova, M.S., Evgrafova, V.A. & Potekhin, A.V. (2019). Podbor pitatel'noj sredy i optimizaciya rezhima glubinogo kul'tivirovaniya Avibacterium paragallinarum. *Veterinariya segodnya.* (2). 12-16. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2019-2-29-12-16>. (In Russ.).
4. Evdokimov, I.Yu., Irkitova, A.N., Malkova, A.V., Dudnik, D.E. & Shirmanov, M.V. (2022). Optimizaciya tekhnologii proizvodstva probiotika na osnove sporov yh bakterij Bacillus pumilus B-13250 i Bacillus toyonensis B-13249. *Vestnik biotekhnologii i fiziko-himicheskoy biologiiim.* YU.A. Ovchinnikova. 18(3). 20-27. (In Russ.).
5. Yixiao Fan, Xiangying Zhao, Jiaxiang Zhang, Liping Yang & Jianjun Liu. (2014). Optimization of fermentation medium for acetoin production by *Bacillus subtilis* sf4-3 using statistical methods. *Preparative Biochemistry and Biotechnology.* 44(5). 529-543. <https://doi.org/10.1080/10826068.2013.835731>.
6. Miao Ye, Linghong Sun, Ru Yang, Zaigui Wang and Ke Zong Qi (2017). The optimization of fermentation conditions for producing cellulase of *Bacillus amyloliquefaciens* sand its application to goose feed. (4). 171012. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.171012>.
7. Nagybekkyzy, E., Moldagulova, N.B., Sembayeva, D.Zh., Sembayev, K.D., Moldagulova, E.B. & Duambekov, M.S. (2019). Selection of optimal parameters for the cultivation of lactic acid bacteria strains, promising as starter cultures for the development of direct application starter culture. *International journal of applied and fundamental research.* (7), 14-18. (In Russ.).
8. Lincoln, L. & More, S.S. (2018). Comparative evaluation of extracellular b-D-fructofuranosidase in submerged and solid-state fermentation produced by newly identified *Bacillus subtilis* strain. // *Journal of Applied Microbiology.* (125). 441-456. <https://doi.org/10.1111/jam.13881>.
9. Martynova, K.V. (2019). Bakteriologicheskaya identifikaciya bakterij Bacillus coagulans, vydelennyh iz tomato i tomatosoderzhashchih produktov pitaniya. Aktual'nye voprosy veterinarnoj biologii. (2). 9-13. <https://doi.org/10.24411/2074-5036-2019-10019>. (In Russ.).
10. K. Morimatsu [et al.]. (2019). Effects of solution pH and Ions on suicidal germination of *Bacillus subtilis* spores induced by medium high temperature-medium high hydrostatic pressure treatment. *Biocontrol Science.* 24(3). 167-172.
11. Morabandza, C.J. [et al.]. (2021). Optimization of Culture Conditions for Protease Production using Three Strains of *Bacillus*. *Journal of Pure and Applied Microbiology.* 15 (2). 621-629. <https://doi.org/10.22207/JPAM.15.2.05>.
12. Bakry, M.M. [et al.]. (2022). Xylanase from thermotolerant *Bacillus haynei* strain, synthesis, characterization, optimization using Box-Behnken Design and biobleaching activity. *Biomass Conversion and Biorefinery.* <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03043-6>.

Information about the authors

I.Yu. Evdokimov - acting Deputy Director, Junior Researcher, EC «Prombiotech» Altai State University.

A.N. Irkitova - Candidate of Biological Sciences, Director, Leading Researcher, EC «Prombiotech», Altai State University.

A.V. Malkova - post-graduate student of the Department of Ecology and Biotechnology, junior researcher of the EC «Prombiotech» of the Altai State University.

D.E. Dudnik - post-graduate student of the Department of Ecology and Biotechnology, laboratory assistant-researcher of the EC «Prombiotech» of the Altai State University.

M.V. Shirmanov - Junior Researcher, EC «Prombiotech», Altai State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 13.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 13 Jan 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



РАЗРАБОТКА ХЛЕБОБУЛОЧНОГО ИЗДЕЛИЯ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

Светлана Дмитриевна Божко¹, Татьяна Анатольевна Ершова²,
Анна Николаевна Чернышова³, Наталья Гаврошевна Ли⁴

^{1, 2, 3, 4} ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Владивосток, Россия

¹ bozhko.sd@dvgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9610-698X>

² ershova.ta@dvgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3996-9105>

³ chernyshova.an@dvgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8545-2567>

⁴ li.ng@dvgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4643-2250>

Аннотация. Расширение ассортимента хлебобулочных изделий за счет введения в рецептуру компонентов, способствующих улучшению их потребительских свойств, модифицирующих их состав, является актуальным направлением. Работа посвящена разработке рецептуры хлебобулочного изделия повышенной пищевой ценности и расширению ассортимента обогащенных хлебобулочных изделий. Состав для производства хлебобулочного изделия включает муку пшеничную высшего сорта, конопляную и кунжутную полуобезжиренную муку, соль пищевую, сахар-песок, дрожжи быстродействующие инстантные, воду питьевую. Составлены мучные композитные смеси, включающие пшеничную муку высшего сорта, конопляную и кунжутную обезжиренную муку в соотношениях, (%): 90–92 / 4–5 / 4–5 (образец 1); 80–82 / 9–10 / 9–10 (образец 2); 70–72 / 14–15 / 14–15 (образец 3); 60–62 / 19–20 / 19–20 (образец 4). Процесс производства хлебобулочных изделий включает в себя замес теста, брожение, разделку теста, выпечку изделий. Замес теста осуществляли безопарным способом, выпечку при стандартных технологических режимах. Исходя из анализа физико-химических показателей и органолептической оценки был выбран образец, обладающий наилучшими показателями, с соотношением мука пшеничная в/с, мука конопляная, мука кунжутная, (%): 70–72 / 14–15 / 14–15. Добавление конопляной и кунжутной муки в заявлении количестве способствует повышению пищевой ценности, положительно влияет на органолептические показатели изделия. В разработанном образце увеличивается количественное содержание белков, жиров, витаминно-минерального комплекса и пищевых волокон. А также улучшаются органолептические показатели, добавление кунжутной муки придает готовому изделию приятный запах и ореховый вкус.

Ключевые слова: хлебобулочное изделие; пшеничная мука, конопляная мука; кунжутная мука, композитная мучная смесь, пищевая ценность, кислотность мякиша, пористость мякиша, влажность мякиша, обогащенные пищевые продукты.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект №FZNS-2022-0012).

Для цитирования: Разработка хлебобулочного изделия повышенной пищевой ценности / С. Д. Божко [и др.]. // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 37–44. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.005. EDN: <https://elibrary.ru/YSVFWW>.

Original article

DEVELOPMENT OF A BAKERY PRODUCT OF INCREASED NUTRITIONAL VALUE

**Svetlana D. Bozhko¹, Tatyana A. Ershova², Anna N. Chernyshova³,
Natalya G. Li⁴**

^{1, 2, 3, 4} Far Eastern Federal University, Advanced Engineering School Institute of Biotechnology, Bio-engineering and Food Systems, Vladivostok, Russia

¹ bozhko.sd@dvgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9610-698X>

² ershova.ta@dvgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3996-9105>

³ chernyshova.an@dvgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8545-2567>

⁴ li.ng@dvgu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4643-2250>

Abstract. *Expanding the range of bakery products by introducing components into the recipe that improve their consumer properties and modify their composition is an important direction. The work is devoted to the development of a recipe for a bakery product of increased nutritional value and the expansion of the range of enriched bakery products. The composition for the production of a bakery product includes wheat flour of the highest grade, hemp and sesame semi-skimmed flour, edible salt, granulated sugar, quick-acting instant yeast, drinking water. Flour composite mixtures are composed, including wheat flour of the highest grade, hemp and sesame flour in the ratios (%): 90-92 / 4-5 / 4-5 (sample 1); 80-82 / 9-10 / 9-10 (sample 2); 70-72 / 14-15 / 14-15 (pattern 3); 60-62 / 19-20 / 19-20 (pattern 4). The process of production of bakery products includes kneading dough, fermentation, cutting dough, baking products. Dough kneading was carried out by a non-dough method, baking was carried out under standard technological conditions. Based on the analysis of physico-chemical parameters and organoleptic evaluation, a sample was selected with the best performance, with a ratio of premium wheat flour, hemp flour, sesame flour (%): 70-72 / 14-15 / 14-15. The addition of hemp and sesame flour in the stated amount increases the nutritional value, positively affects the organoleptic characteristics of the product. In the developed sample, the quantitative content of proteins, fats, vitamin-mineral complex and dietary fiber increases. And also organoleptic indicators are improved, the addition of sesame flour gives the finished product a pleasant smell and nutty taste.*

Keywords: bakery product; wheat flour, hemp flour; sesame flour, composite flour mixture, nutritional value, crumb acidity, crumb porosity, crumb moisture content, fortified food products.

Acknowledgements: This work has been carried out with the financial support of the federal budget under the state order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the field of scientific activity, Supplementary Agreement to the Agreement on the provision of subsidies from the federal budget for financial support for the implementation of the state order for the provision of public services (performance of work) dated 11.11.2022 №075-03-2022-114/7, project №FZNS-2022-0012, project theme "Development of domestic technologies for dry mixes enriched with vitamin complexes, omega fatty acids with probiotic activity for therapeutic oral nutrition, incl. children and patients in hospitals together with the R&D center and on the basis of the high-tech enterprise «Arnika LLC».

For citation: Bozhko, S.D., Ershova, T.A., Chernyshova, A.N. & Li, N.G. (2023). Development of a bakery product with increased nutritional value. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 37-44. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.005.EDN: <https://elibrary.ru/YSVFWW>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время повышенным спросом у населения пользуются специализированные продукты питания, продукты функционального назначения, продукты, предназначенные для профилактики заболеваний, обусловленных неполноценным и несбалансированным питанием. Одной из основных задач, которая стоит перед пищевой промыш-

ленностью, является разработка продукции, обогащенной биологически активными веществами, макро- и микронутриентами, в том числе витаминами и минеральными веществами. Целесообразность производства обогащенных хлебобулочных изделий обусловлена, прежде всего, тем, что хлеб и хлебобулочные изделия в России остаются продуктами массового потребления, вследствие че-

го повышение его пищевой и биологической ценности позволит решить проблему профилактики и лечения различных заболеваний. Одним из ведущих приоритетных направлений развития хлебопекарной отрасли является производство хлебобулочных изделий из основного и дополнительного сырья, применяемого для обеспечения специфических органолептических и физико-химических показателей. В хлебопекарном производстве известен прием, при котором вместо части пшеничной муки используют нетрадиционные виды муки или их композитные смеси. Проведены исследования по изучению возможности введения в рецептурный состав хлеба полбяной муки [1], соевой муки [2, 3], овсяной муки [4], гречневой [5] и амарантовой муки [6]. Поэтому в данной работе уделено большое внимание выбору нетрадиционных видов муки, дополнительное введение которых в состав хлеба позволит получить изделие повышенной пищевой ценности. В качестве объектов исследования выбраны малоиспользуемые в хлебопекарном производстве конопляная и кунжутная мука. Конопляная мука представляет собой перемолотые зёрна конопли. Уникальность конопляной муки в том, что в ней имеется хлорофилл. Конопляная мука имеет в своем составе каротиноиды, магний, цинк, марганец, витамины С, К, Е. Эти компоненты наделяют продукт бактерицидными свойствами. Кунжутную муку получают из цельных семян кунжута, либо кунжутного жмыха, который остается после отжима масла, таким образом, она сохраняет все полезные свойства целых кунжутных семян. Кунжутная мука имеет сбалансированный аминокислотный состав, разнообразный витаминно-минеральный комплекс, моно- и полиненасыщенные жирные кислоты [7, 8]. Проведя анализ ассортимента хлеба и хлебобулочных изделий различных производителей, можно сделать вывод, что семена кунжута используют в качестве декоративного элемента на поверхности изделия или вводят в состав теста в целом виде, однако кунжутную муку в качестве добавки не используют. Кунжутная мука полуобезжиренная содержит в своем составе в два раза больше белка по сравнению с семенами кунжута, но меньше жиров, в том числе полиненасыщенных. Биологическая ценность аминокислотного состава муки выше, чем семян кунжута. В муке больше витаминов В₁, В₅, серы, цинка и фосфора [9]. В хлебопекарном производстве известен прием, при котором вместо части пшеничной муки используют нетрадиционные виды муки. Например, замена части

пшеничной муки высшего сорта на конопляную муку [10]. Авторами исследована возможность использования конопляной муки в технологии производства хлеба и установлено, что при замене 10 % пшеничной муки на конопляную улучшаются структурно-механические свойства мякиша за счет содержания жира в используемой муке, а содержащаяся в ней клетчатка способствует увеличению объема тестовой заготовки и готового изделия. Автор объясняет это тем, что клетчатка раздвигает клейстеризованную массу, увеличивает активную поверхность, удерживая пузырьки воздуха, захваченные при замесе. Полученное изделие имеет хорошо развитый мелкопористый мякиш. Помимо значительных изменений в химическом составе хлеба изменяется и пищевая ценность продукта, в нем на 27,4 % увеличивается содержание белков, на 33 % – содержание жиров и на 34 % – содержание клетчатки. Также опубликованы исследования по замене части хлебопекарной пшеничной муки высшего сорта на кунжутную муку [7, 11, 12]. Авторами изучено влияние добавки кунжутной муки в количестве от 1,5 % до 15 % на физико-химические и органолептические показатели готового изделия. Установлено, что с увеличением концентрации добавки увеличивается кислотность опытных образцов на 1–2 град., улучшается показатель формоустойчивости. В изделии с добавлением от 10 % до 15 % кунжутной муки мякиш становится более уплотненным, темного цвета, появляется выраженный ореховый привкус и запах.

МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования выбраны мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта ГОСТ 26574-2017, мука кунжутная полуобезжиренная, СТО 984 15974-004-2016, мука конопляная СТО 984 15974-004-2016 СТО 984 15974-004-2016, композитные мучные смеси при соотношении мука пшеничная высшего сорта: мука конопляная : мука кунжутная, равном (%) 90–92 / 4–5 / 4–5 (образец 1); 80–82 / 9–10 / 9–10 (образец 2); 70–72 / 14–15 / 14–15 (образец 3); 60–62 / 19–20 / 19–20 (образец 4). Органолептическую оценку готовых изделий проводили по ГОСТ 31986-2012. Оценку хлебобулочных изделий при разных соотношениях пшеничной, кунжутной и конопляной муки проводили по основным органолептическим показателям по ГОСТ 31986-2012. Расчет содержания основных пищевых веществ проводили в соответствии с СанПиНом 2.3.2.1078-01 [13]. Физико-химические показатели изделий определяли

стандартными методами: кислотность мякиша ГОСТ 5670, влажность мякиша ГОСТ 21094, пористость мякиша ГОСТ 5669. Сбор, обработку и анализ информации проводили общими и стандартными методами.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Хлебобулочные изделия обладают различной энергетической ценностью, которая зависит от рецептуры, химического состава ингредиентов, влажности изделия и других факторов. Проведя сравнительный анализ пшеничной муки высшего сорта, конопляной и кунжутной обезжиренной муки по содержанию основных пищевых веществ (рисунок 1), можно сделать вывод о том, что кунжутная полуобезжиренная и конопляная мука по содержанию белка и жира превосходят пшеничную муку высшего сорта.

Кроме того, кунжутная и конопляная мука являются хорошим источником кальция, калия, железа и магния, витаминов В₁, А, Е, РР, пищевых волокон. Таким образом, использование в производстве хлебобулочных изделий данных видов муки способствует обогащению готового продукта данными компонентами [14].



Рисунок 1 – Пищевая ценность муки
Figure 1 - Nutritional value of flour

Целью работы является разработка рецептуры хлебобулочного изделия повышенной пищевой ценности и расширение ассортимента обогащенных хлебобулочных изделий. Состав для производства хлебобулочного изделия включает муку пшеничную высшего сорта, конопляную и кунжутную полуобезжиренную муку, соль пищевую, сахар-песок, дрожжи быстродействующие инстантные и воду питьевую. Кунжутная полуобезжиренная мука – самый распространенный и самый доступный вид в хлебопекарной промышленности. Другие виды кунжутной муки использовать при производстве хлебобулочных изделий нецелесообразно из-за недостаточного количества содержащихся в них жиров (обезжиренная), или, наоборот, из-за избыточного их содержания (необезжиренная), что

будет влиять на изменение структурно-механических свойств мякиша [12].

Составлены композитные смеси при соотношении **мука пшеничная / конопляная мука / кунжутная мука**, равном (%):

- 90–92 / 4–5 / 4–5 (образец 1);
- 80–82 / 9–10 / 9–10 (образец 2);
- 70–72 / 14–15 / 14–15 (образец 3);
- 60–62 / 19–20 / 19–20 (образец 4).

Использование добавок в количестве менее 10 % нецелесообразно из-за незначительного увеличения пищевых веществ в готовом изделии. А при добавлении более 40 % происходит сильное ухудшение органолептических и физико-химических показателей (пористости, влажности, кислотности). В качестве контроля принят состав для производства хлебобулочных изделий, включающий муку пшеничную высшего сорта, соль пищевую, дрожжи инстантные быстродействующие и воду питьевую. Процесс производства хлебобулочных изделий включает в себя замес теста, брожение теста, разделку и выпечку изделий. Замес теста осуществляли безопарным способом, выпечку проводили при стандартных технологических режимах.

Таблица 1 – Физико-химические показатели хлебобулочных изделий

Table 1 - Physical and chemical parameters of bakery products

Наименование показателя	Значение показателя				
	Контрольный образец	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Кислотность мякиша, град	3,1 ±0,27	3,4 ±0,35	3,9 ±0,41	4,4 ±0,53	5,0 ±0,65
Пористость мякиша, %	69,0 ±2,48	69,8 ±1,86	68,0 ±2,77	65,6 ±2,4	63,0 ±1,86
Влажность мякиша, %	44,0 ±1,56	43,0 ±1,94	44,0 ±1,35	46,0 ±1,48	47,0 ±1,62

Установлено, что при внесении 19–20 % конопляной и 19–20 % кунжутной муки взамен пшеничной муки высшего сорта наблюдается ухудшение органолептических показателей качества готовых изделий, а также отклонение от нормируемых ГОСТ Р 58233-2018 физико-химических показателей, а при внесении 4–5 % и 9–10 % конопляной и кунжутной муки заявленный технический результат не достигается. Физико-химические показатели хлебобулочных

РАЗРАБОТКА ХЛЕБОБУЛОЧНОГО ИЗДЕЛИЯ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

изделий в зависимости от соотношения различных видов муки приведены в таблице 1.

Проанализировав данные, установлено, что наилучшими показателями качества, близкими к контрольному, обладают образец 1 с добавлением 4 % конопляной и 5 % кунжутной муки, образец 2 с добавлением 9 % конопляной и 10 % кунжутной муки и образец 3 с добавлением 14 % конопляной муки и 15 % кунжутной муки. Данные образцы схожи по физико-химическим свойствам с контрольным образцом. Показатели пористости у образцов 2 и 3 не менее 65 %, влажность соответствует показателям ГОСТ Р 58233-2018 (для хлеба из пшеничной муки высшего сорта). Кислотность изменяется незначительно и имеет прямую корреляцию с количеством вносимых добавок конопляной и кунжутной муки. Увеличение количества вносимых добавок конопляной и кунжутной муки выше 15 % приводит к увеличению влажности изделия, что связано с водопоглотительной способностью данных добавок, а также к росту кислотности изделий, что не соответствует требованиям стандарта.

Исходя из анализа физико-химических показателей и органолептической оценки был выбран образец, обладающий наилучшими показателями, с соотношением мука пшенич-

Таблица 2 – Органолептическая характеристика образцов
Table 2 - Organoleptic characteristics of samples

Наименование показателя	Характеристика и оценка показателя	
	Контрольный образец	Образец 3
Внешний вид: - Форма	Не расплывчатая, без притисков	Не расплывчатая, без притисков
	С неглубокими, косыми надрезами, присыпан мукой	С неглубокими, косыми надрезами, присыпан мукой
	Оценка: 4,7	Оценка: 4,8
Состояние мякиша: - Пропеченность	Пропеченный, не влажный на ощупь. Эластичный. После легкого надавливания пальцами мякиш принимает первоначальную форму	Пропеченный, не влажный на ощупь. Эластичный. После легкого надавливания пальцами мякиш принимает первоначальную форму
	Без комочеков и следов непромеса	Без комочеков и следов непромеса
	Развитая, без пустот и уплотнений, равномерная	Развитая, без пустот и уплотнений, равномерная
Вкус	Оценка: 4,7	Оценка: 4,7
	Свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса	Свойственный данному виду изделия, сладковатый, ореховый
	Оценка: 4	Оценка: 4,6
Запах	Свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха	Свойственный данному виду изделия, ореховый
	Оценка: 4,4	Оценка: 4,8
Цвет	Корка хлеба – золотистый, равномерный Мякиш – однородный, белый	Корка хлеба - коричневый, равномерный Мякиш – однородный, бежевый с коричневым оттенком
	Оценка: 5	Оценка: 4,9

ная высшего сорта / мука конопляная / мука кунжутная, равном 70–72 / 14–15 / 14–15 (образец 3) (рисунок 2).

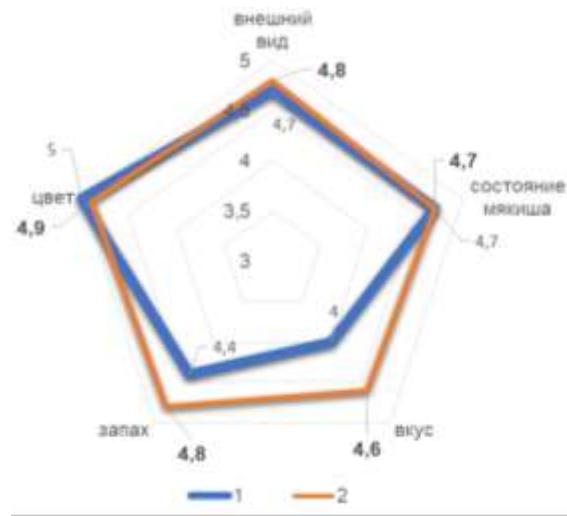


Рисунок 2 – Профилограмма органолептической оценки (1 – контроль; 2 – образец 3)

Figure 2 - Organoleptic valuation profile (1 - control; 2 - sample 3)

Органолептическая характеристика образцов приведена в таблице 2.

Содержание основных пищевых компонентов в образцах изделий представлено в таблицах 3, 4. В образце 3 по сравнению с контрольным образцом содержится на

26,45 % больше белка и на 26,5 % больше жиров, а калорийность меньше на 15,6 % за счет уменьшения содержания углеводов на 5,5 %.

Таблица 3 – Содержание основных пищевых веществ

Table 3 - The content of the main food substances

Наименование показателя	Содержание пищевых веществ, на 100 г готового изделия				
	Контрольный образец	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Белки, г	6,0	7,0	8,0	8,0	9,0
Жиры, г	1,0	1,0	2,0	3,0	3,0
Углеводы, г	41	37	32	38	25
Энергетическая ценность, ккал/100 г	200	190	180	170	170

Таблица 4 – Витаминно-минеральный состав образцов (на 100 г готового изделия)

Table 4 - Vitamin and mineral composition of the samples (per 100 g of the finished product)

Наименование показателя	Суточная норма потребления [12]	Контрольный образец		Образец 3	
		Содержание в готовом изделии	% от суточной нормы	Содержание в готовом изделии	% от суточной нормы
Пищевые волокна, г	25,00	2,00	8,00	9,87	39,48
B ₁ , мг	1,50	0,11	7,30	0,60	40,00
B ₂ , мг	1,80	0,03	1,60	0,23	12,10
B ₆ , мг	2,00	0,21	10,0	0,36	18,0
B ₉ , мкг	300,00	27,50	9,10	22,31	7,43
PP, мг	25,00	1,90	7,60	3,25	13,00
E, мг ток. экв.	15,00	1,00	6,60	1,07	7,10
A, мкг рет.экв	900,00	–	–	0,45	0,05
Ca, мг	1100,00	11,50	1,00	93,93	8,50
Fe, мг	12,00	0,80	6,60	7,68	64,00
K, мг	2500,00	78,10	3,10	413,17	16,50
Mg, мг	400,00	10,20	2,55	128,99	32,20
Na, мг	1300,00	1,90	0,10	7,52	0,60
P, мг	1200,00	55,00	4,60	166,70	13,90

Таким образом, анализируя данные по содержанию основных пищевых веществ, пищевых волокон и витаминно-минерального комплекса в полученном образце 3, его можно охарактеризовать как хлебобулочное изделие повышенной пищевой ценности.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования разработанного хлебобулочного изделия подтвердили целесообразность включения в рецептуру композитной мучной смеси из выбранных видов муки, что положительно сказывается на органолептических и физико-химических показателях готового изделия, способствует повышению пищевой ценности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов исследований сделаны выводы, что внесение конопляной и кунжутной муки в заявленном количестве способствует повышению пищевой ценности; позволяет разнообразить и увеличить содержание витаминов и минералов в готовом продукте; обогащает изделие пищевыми волокнами. Количество данной добавки положительно влияет на органолептические показатели: придаёт приятный запах и ореховый вкус хлебобулочному изделию, а также улучшает внешний вид изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Торгашова С.В., Савельева А.С., Крыницкая А.Ю. Полбяная мука – перспективная добавка при производстве пшеничного хлеба // Вестник научных конференций. 2017. № 4–5 (20). С. 142–143.
2. Божко С.Д., Ершова Т.А., Чернышова А.Н. Соевая мука – белковый обогатитель мучных кондитерских и хлебобулочных изделий // Актуальные вопросы развития производства пищевых продуктов: технологии, качество, экология, оборудование, менеджмент и маркетинг: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф., Уссурийск. 2020. С. 106–110.
3. Способ производства диетических хлебных изделий: пат. 2136160 Рос. Федерация № 97121615/13; заявл. 29.12.1997; опубл. 10.09.1999.
4. Старовойтова Я.Н., Чугунова О.В. Использование новых нетрадиционных видов сырья в производстве хлебобулочных изделий в общественном питании // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Западно-Сибирский научный центр. 2016. С. 120–122.
5. Драгилева Л.Ю., Степулева Л.Ф., Шкапорова А.О. Состав для производства хлеба с гречневой мукой. Патент России № 2611824.2009. Бюл. № 7.
6. Шмалько Н.А., Смирнов С.О. Способ производства пшеничного булочного изделия с добавлением амарантовой крупы муки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 1 (361). С. 49–53.
7. Кузьмина С.С. Использование кунжутной муки в технологии булочных изделий // Ползуновский вестник. 2019. № 4. С. 12–16.
8. Park S.H., Ryu S.N., Bu Y. and others. Antioxidant components as potential neuroprotective agents in sesame (*Sesamum indicum* L.) // Food Reviews International. 2010. № 26(2). Р. 103-121.
9. Кочеткова С.Ф., Механцева С.Ю., Золотов Н.А., Кротова О.Е. Анализ пищевой ценности кунжута как добавки в творожные продукты геродиетической направленности // Инновационные технологии в науке и образовании. 2022. С. 92–96.
10. Лукин А.А. Перспективы применения кунжутной муки в технологии производства хлеба // Вестник современных исследований. 2017. С. 120–124.
11. Черкасов О.В., Евтишина Е.В. Кунжутная мука в производстве хлебобулочных изделий функционального назначения // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2009. С. 40–43.
12. Bilyk O., Bondarenko Y., Hryshchenko A. Studying the effect of sesame flour on the technological properties of dough and bread quality // Eastern European Journal of Advanced Technology. 2018. V. 3. No 11 (93). Р. 6-16.
13. СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» (с последующими изменениями и дополнениями № 1-25 2001–2011 гг.). [Электронный ресурс] // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ URL: <https://base.garant.ru/4178234/?ysclid=lfasi8ic4s277914321> (дата обращения 10.09.2022).
14. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.) [Электронный ресурс] // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140>. (дата обращения 02.10.2022).

Информация об авторах

С. Д. Божко – кандидат технических наук, доцент факультета агропищевых технологий и пищевой инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ.

Т. А. Ершова – кандидат технических наук, доцент факультета агропищевых технологий и пищевой инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ.

А. Н. Чернышова – кандидат технических наук, доцент факультета агропищевых технологий и пищевой инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ.

Н. Г. Ли – кандидат технических наук, доцент факультета агропищевых технологий и пищевой инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ДВФУ.

REFERENCES

1. Torgashova, S.V., Saveljeva, A.S. & Krynnitskaya, A.Yu. (2017). Spelled flour - a promising additive in the production of wheat bread. Bulletin of scientific conferences. 4-5 (20). 142-143. (In Russ.).
2. Bozhko, S.D., Ershova, T.A. & Chernyshova, A.N. (2020). Soy flour as a protein fortifier for flour confectionery and bakery products. *Topical issues of food production development: technology, quality, ecology, equipment, management and marketing: materials of the IV All-Russia. scientific-practical Conf.*, Ussuriysk. 106-110. (In Russ.).
3. Method for the production of dietary bread products (1999). Pat. 2136160 Ros. Federation No. 97121615/13; dec. 29.12.1997; publ. 10.09.1999. (In Russ.).
4. Starovoitova, Ya.N. & Chugunova, O.V. (2016). The use of new non-traditional types of raw materials in the production of bakery products in public catering. *Scientific and technical progress: current and promising directions of the future: materials of the IV Intern. scientific-practical. Conf., West Siberian Scientific Center*. 120-122. (In Russ.).

5. Dragileva, L.Yu., Stepuleva, L.F. & Shkaporova, A.O. (2009). Composition for the production of bread with buckwheat flour. *Patent of Russia*, No 2611824. Bull. No. 7. (In Russ.).
6. Shmalko, N.A. & Smirnov, S.O. (2018). A method for the production of a wheat bakery product with the addition of amaranth groats flour. *Food technology*. 1 (361). pp. 49-53. (In Russ.).
7. Kuzmina, S.S. (2019). The use of sesame flour in the technology of bakery products. *Polzunovskiy Vestnik*. (4). 12-16. (In Russ.).
8. Park, S.H., Ryu, S.N., Bu, Y. and others. (2010). Antioxidant components as potential neuro-protective agents in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Food Reviews International*. 26(2). 103-121. (In Russ.).
9. Kochetkova, S.F., Mekhantseva, S.Yu., Zolotov, N.A. & Krotova, O.E. (2022). Analysis of the nutritional value of sesame as an additive in curd products of a geriatric orientation. *Innovative technologies in science and education*. 92-96. (In Russ.).
10. Lukin, A.A. (2017). Prospects for the use of hemp flour in the technology of bread production. *Bulletin of modern research*. 120-124. (In Russ.).
11. Cherkasov, O.V. & Evtishina, E.V. (2009). Sesame flour in the production of functional bakery products. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University*. P.A. Kostychev. 40-43. (In Russ.).
12. Bilyk, O., Bondarenko, Y. & Hryshchenko, A. (2018). Studying the effect of sesame flour on the technological properties of dough and bread quality. *Eastern European Journal of Advanced Technology*. 3(11 (93)). 6-16.
13. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products (with subsequent amendments and additions. SanPiN 2.3.2.1078-011-25 2001-2011. Retrieved from <https://base.garant.ru/> 4178234/?ysclid=lfasj8ic4s277914321. (In Russ.).
14. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Guidelines MP 2.3.1.0253-21 approved by the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare on July 22, 2021rc]. Retrieved from <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140>. (In Russ.).

Information about the authors

S.D. Bozhko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agri-Food Technologies and Food Engineering of the Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems" FEFU.

T.A. Ershova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agri-Food Technologies and Food Engineering of the Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems" FEFU.

A.N. Chernyshova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agri-Food Technologies and Food Engineering of the Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems" FEFU.

N.G. Li - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agri-Food Technologies and Food Engineering of the Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems" FEFU.

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

Статья поступила в редакцию 05.12.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 05 Dec 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУБЛЕНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО АНАЛОГА МЯСА В СРАВНЕНИИ С ТРАДИЦИОННЫМИ

Роман Владимирович Крюк ¹, Марина Геннадьевна Курбанова ²,
Мухсин Мухим-заде ³, Виктория Алексеевна Крюк ⁴,
Анна Сергеевна Козлякина ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия

¹ roman.kryuk.94@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5884-8598>

² kurbanova-mg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0563-1007>

³ mukhim-zade@mail.ru

⁴ Vika.kryuk.95@mail.ru

⁵ anya.k18@mail.ru

Аннотация. Растительное мясо открывает перед нами огромный гастрономический мир, который потребители активно изучают. Котлеты, фарш, шашлык, колбаса и снэки – часть этого изобилия можно спокойно найти на полках супермаркетов в крупных городах. Новинки активно раскупают не только поклонники азиатской кухни или приверженцы вегетарианских принципов. А еще растительное мясо нашло себя в постной, халльянной и каширской кухнях. Чем шире распространяется продукт, тем больше потребитель хочет знать о его безопасности. Целью работы является исследование реологических характеристик традиционных полуфабрикатов из мяса свинины и аналога из растительного сырья.

Объектами исследования выступают рубленые полуфабрикаты из традиционного мяса свинины и аналога из растительного сырья. Рассматриваемые реологические показатели позволили сравнить полуфабрикат аналога из растительного сырья с полуфабрикатом традиционным из мяса свинины.

В работе были рассмотрены такие показатели, как реологические свойства, влагосвязывающая способность и влага, которые позволяют сделать заключение о полуфабрикате из аналога растительного сырья. В результате проведенных реологических исследований было установлено, что полуфабрикат из аналога растительного сырья приближен по своим качествам к полуфабрикату из традиционного мяса свинины. Полуфабрикат из аналога растительного мяса является конкурентоспособным для массового производства в пищевой промышленности.

Полученные результаты в ходе проведенных исследований позволяют сделать вывод, что развитие и расширение ассортимента производства полуфабрикатов из аналога растительного сырья является перспективным направлением и составит высокую конкуренцию рубленым полуфабрикатам из мяса свинины.

Ключевые слова: мясо, белок, растительный аналог, свинина, реологические свойства.

Для цитирования: Исследование реологических характеристик рубленых полуфабрикатов из растительного аналога мяса в сравнении с традиционными / Р. В. Крюк [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 45–50. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.006. EDN: <https://elibrary.ru/WNASIE>.

Original article

STUDY OF RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CHOPD SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM VEGETABLE MEAT ANALOGUE IN COMPARISON WITH TRADITIONAL

Roman V. Kryuk ¹, Marina G. Kurbanova ², Mukhsin Mukhim-zade ³,
Victoria A. Kryuk ⁴, Anna S. Kozlyakina ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

¹ roman.kryuk.94@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5884-8598>

² kurbanova-mg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0563-1007>

³ mukhim-zade@mail.ru

⁴ Vika.kryuk.95@mail.ru

⁵ anya.k18@mail.ru

Abstract. Vegetable meat opens up a huge gastronomic world for us, which consumers are actively exploring. Cutlets, minced meat, barbecue, sausages and snacks - part of this abundance can be easily found on the shelves of supermarkets in large cities. Novelties are actively bought up not only by fans of Asian cuisine or adherents of vegetarian principles. And vegetable meat has found itself in lean, halal and kosher cuisines. The more widely a product is distributed, the more the consumer wants to know about its safety. The aim of the work is to study the rheological characteristics of traditional semi-finished products from pork meat and an analogue from vegetable raw materials.

The objects of the study are chopped semi-finished products from traditional pork meat and an analogue from vegetable raw materials. The considered rheological indicators made it possible to compare the semi-finished analogue from vegetable raw materials with the traditional semi-finished product from pork meat.

The paper considered such indicators as rheological properties, moisture-binding capacity and moisture, which will allow us to make a conclusion about the semi-finished product from an analogue of vegetable raw materials. As a result of the rheological studies, it was found that the semi-finished product from an analogue of vegetable raw materials is close in quality to the semi-finished product from traditional pork meat. A semi-finished product from an analogue of vegetable meat is competitive for mass production in the food industry.

The results obtained in the course of the conducted studies allow us to conclude that the development of expanding the range of production of semi-finished products from an analogue of vegetable raw materials is a promising direction and will be highly competitive with chopped semi-finished products from pork meat.

Keywords: Meat, protein, vegetable analogue, pork, rheological properties.

For citation: Kryuk, R.V., Kurbanova, M.G., Mukhim-zade, Mukhsin, Kryuk, V.A. & Kozlyakina. A.S. (2023). Study of rheological characteristics of choppd semi-finished products from vegetable meat analogue in comparison with traditiona. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 45-50. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.006. EDN: <https://elibrary.ru/WNASIE>.

ВВЕДЕНИЕ

Употребление мясных продуктов животного происхождения является неотъемлемой составляющей жизненного цикла человечества. Мясные продукты являются основным источником белка, липидов. В нынешнее время новое поколение людей предпочитают употреблять в своем рационе продукты растительного происхождения взамен животного. Много факторов повлияло на данный выбор: экология, здоровье, защита животных.

Аналоги мясного продукта из растительного сырья не пользуются большим спросом в исходном виде, но если этот продукт будет в виде полуфабрикатов, то спрос на данный продукт значительно вырастет. Поэтому спрос на полуфабрикаты из аналогов растительного сырья возможен больше при условии его удешевления.

Так как групп людей, придерживающихся разных типов питания, становится все больше, то переход на разработку инновационных ана-

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУБЛЕНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО АНАЛОГА МЯСА В СРАВНЕНИИ С ТРАДИЦИОННЫМИ

логов мяса и мясных полуфабрикатах, соответствующих по своим характеристикам традиционным мясным продуктам, должен возрасти.

Для производства полуфабрикатов из аналогов растительного белка используют текстурированный растительный белок, обладающий высокими питательными свойствами, которые достигаются за счет наличия витаминов, аминокислот и макроэлементов. С применением текстурированного растительного белка в производстве полуфабрикатов из аналогов растительного мяса позволяет применять широкий спектр технологических операций.

Таким образом, целью настоящего исследования было произвести сравнительный анализ реологических свойств рубленых полуфабрикатов из мяса свинины и аналогов из растительного мяса.

Таблица 1 – Рецептура мясных рубленых полуфабрикатов, изготовленных на разной основе

Table 1 - Recipe of minced meat semi-finished products made on a different basis

Наименование компонентов	Количественное соотношение компонентов, %	
	для рецептуры 1 (на основе традиционного мяса свинины)	для рецептуры 2 (на растительной основе аналога мяса)
Свинина нежирная	75,09	–
Текстурированный растительный белок (ТРБ)	–	74,90
Метилцеллюлоза	3,00	3,00
Специи	1,11	9,36
Шпик	20,06	7,5
Свекольный сок	–	3,00
Патока	–	1,50
Глутамат натрия	0,74	0,74

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение реологических свойств

Для определения реологических и прочностных свойств полуфабриката использовали прибор «Структурометр СТ-2». Устройство для измерения зависимостей усилия от деформаций СТ-2 может использоваться в лабораториях многих пищевых производств, а также в лабораториях научно-исследовательских и образовательных институтов.

Электромеханическое устройство включает шариковинтовую пару, шаговый двигатель, тензобалку, блок управления с микроконтроллером, плату сбора данных, два блока питания.

Метод математической обработки кривой релаксации нужен для определения реологических свойств полуфабриката.

Задача исследования: исследовать реологические свойства аналога растительного мяса и мяса из свинины.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения ряда сравнительных экспериментов были выбраны рубленые полуфабрикаты, изготовленные из традиционного мяса свинины и композиции, представляющей аналог мяса на растительной основе. Текстурированный растительный белок был выбран в качестве растительной основы для рубленых полуфабрикатов из мясного аналога, а метилцеллюлоза была включена в качестве связующего ингредиента, также в рецептуру (таблица 1) были включены патока, дрожжевая приправа, кокосовое и рапсовое масло, чесночный порошок и черный перец.

Рассчитать реологические характеристики полуфабриката можно при помощи математической модели, описывающей релаксацию.

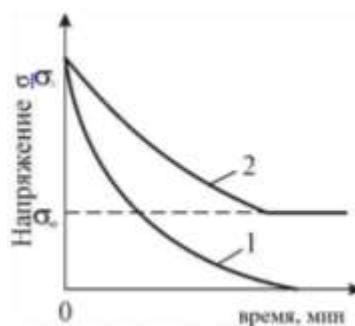


Рисунок 1 – Усилия напряжения на инвентаре в процессе релаксации

Figure 1 - Stress forces on the inventory during relaxation

Механические напряжения, возникающие при нагрузке (рисунок 1), можно разде-

лить на три части. Первая и вторая части расслабляются, а третья остается без изменений. Пластичность и остаточная прочность продукта характеризуются в первой и второй части (расслабляющей).

Классификация структурно-механических свойств полуфабриката возникает при контроле их реологических свойств.

Определение влагосвязывающей способности влаги

Для измерения влагосвязывающей способности влаги в сырье использовали влагомер MX-50.

Для построения графиков в реальном времени измерений имеется лицензионная программа, предназначенная для компьютера, полученные результаты можно сохранить в программе EXCEL.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Адгезионная способность мясных продуктов является одной из главных проблем, так как от данного процесса зависят потери сырья. Наибольшее внимание адгезии уделяется во время формирования полуфабрикатов. Рабочие поверхности покрываются полимерными материалами, что способствует снижению сопротивления между оборудованием и сырьем [1].

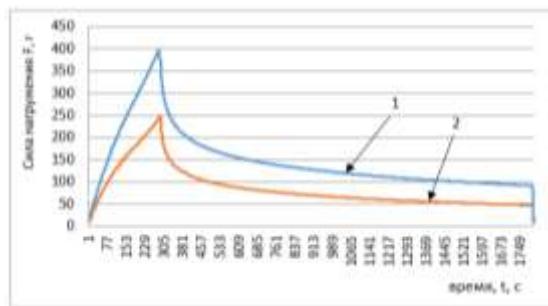


Рисунок 2 – Адгезия полуфабрикатов из свинины (1) и аналогов мяса (2)

Figure 2 - Adhesion of pork semi-finished products (1) and meat analogues (2)

Для проверки метода против адгезии на рабочую поверхность был нанесен фторопласт, путем окунания в эмульсию, в результате на структурометре СТ-2 наблюдается меньшая прилипаемость растительного аналога к оборудованию, по сравнению с полуфабрикатом из мяса свинины (рисунок 2). Таким образом, адгезионная способность у полуфабрикатов на растительной основе значительно ниже, чем у полуфабриката из мяса свинины, что способствует меньшему прили-

панию продукта к внутренним органам пищевого оборудования, потери сырья, а также позволит снизить затраты мощности.

Восстановительную способность полуфабрикатов также определяли на структурометре СТ-2 (рисунок 3).

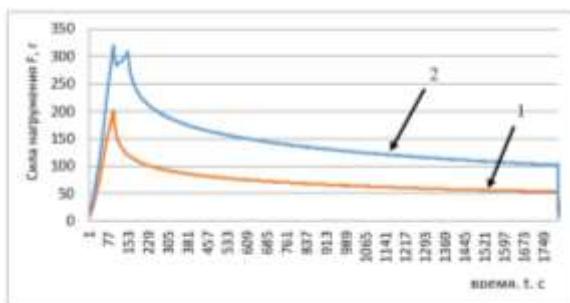
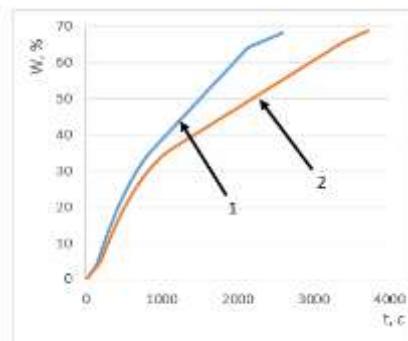
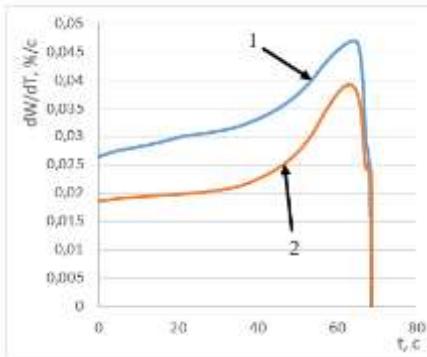


Рисунок 3 – Восстановительная способность образцов полуфабрикатов из свинины (1) и аналогов мяса (2)

Figure 3 - Reducing capacity of samples of semi-finished pork (1) and meat analogues (2)



а)



б)

Рисунок 4 (а) – Кривая сушки полуфабрикатов из свинины и аналогов мяса;

4 (б) – Кинетика сушки полуфабрикатов из свинины (1) и аналогов мяса (2)

Figure 4 (a) - Drying curve of semi-finished pork products and meat analogues; 4 (b) - Kinetics of drying semi-finished pork products (1) and meat analogues (2)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУБЛЕНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО АНАЛОГА МЯСА В СРАВНЕНИИ С ТРАДИЦИОННЫМИ

Результаты эксперимента свидетельствуют о большей эластичности полуфабриката из растительного мяса, чем у полуфабриката из мяса свинины, что способствует образованию и сохранению структуры полуфабриката. Восстановительная способность аналога из растительного мяса значительно выше, что способствует сохранению и восстановлению структуры полуфабриката, а также более плотной структуры, чем у полуфабриката из мяса свинины (рисунок 3).

На следующем этапе определяли влажность образцов, по результатам исследований были построены 2 кривые: сушки и кинетической сушки (рисунок 4). В качестве исследования была проведена сушка с односторонним контактным теплоподводом натяжения 50–67 минут.

Из графиков видно, что связанная влага в полуфабрикате из растительного сырья удаляется более медленнее и дольше, что будет способствовать оставаться готовому продукту быть более сочнее и текстурированнее. Аналогичные результаты показывают графики кинетики сушки.

ВЫВОД

Исследование реологических показателей качества полуфабрикатов из мяса свинины и аналогов растительного сырья свидетельствуют о том, что аналог из растительного сырья соответствует всем исследованным параметрам, которые способны конкурировать с традиционными полуфабрикатами из мяса свинины. Аналоги полуфабрикатов из растительного сырья позволяют расширить ассортимент мясных полуфабрикатов и повысить конкуренцию традиционным полуфабрикатам из мяса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Danowska-Oziewicz M. Влияние изолята соевого белка на физико-химические свойства, окисление липидов и органолептические качества нежирных котлет из свинины, хранящихся в вакууме, карте и замороженном состоянии // Пищевой консервант. 2014. № 38, С. 641–654.
2. Аlamу Э.О., Бузи М.Д. Влияние включения текстурированного соевого белка (ч. л.) на органолептические характеристики и приемлемость местных блюд в Нигерии // Когент Фуд Агрик. 2019. № 5. С. 1671749. DOI: 10.1080/23311932.2019.1671749.
3. Альтернативы немясному белку в качестве мясных наполнителей и аналогов мяса / М.А. Асгар, А. Фазилах, Н. Худа, Р. Бхат, А.А. Карим // Compr Rev Food Sci Food Safe. 2010. № 9. С. 513–529. doi: 10.1111/j.1541-4337.2010.00124.x.
4. Анализатор влажности [Электронный ресурс] / Официальный сайт: Анализаторы // 2015. Режим доступа: <http://www.electronpribor.ru/catalog/974/mx-50.htm>.
5. Лавренова З.И., Денисюк Е.А., Залетова Т.В. Влияние пророщенной пшеницы на качество, пищевую ценность, безопасность и экономическую эффективность рубленых полуфабрикатов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2017. № 2. С. 68–74.
6. Гликолиз и снижение pH преждевременно прекращаются в окислительных мышцах, несмотря на наличие избытка гликогена / С.С. Чаухан [и др.] // Мясо Мышцы Биол. 2019. № 3, С. 254–264.
7. Датчики цвета в "интеллектуальной упаковке" пищевых продуктов / Р.В. Крюк, М.Г. Курбанова, А.Ю. Колбина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 321–333.
8. Качественные характеристики мяса кроликов при включении в рацион экстракта эхинацеи пурпурной (Echinacea purpurea L.) / Р.А. Ворошилин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 2. С. 185–193. DOI 10.21603/2074-9414-2020-2-185-193. EDN MRCDUB.
9. Курбанова М.Г., Ворошилин Р.А., Арутюнян В.С. Мясные деликатесы Испании – особенности и технологии // Все о мясе. 2021. № 1. С. 12–15. DOI 10.21323/2071-2499-2021-1-12-15. EDN MBSSWE.
10. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Хотимченко С.А. Нормативная база оценки качества и безопасности пищи // Russian Journal of Rehabilitation Medicine. 2017. № 2. С. 74–120.
11. Разработка аналога мяса на основе грибного и пшеничного глютена с использованием методологии поверхности отклика / Р. Ахирвар [и др.] // Int J Adv Res. 2015. № 3. С. 923–930.
12. Реология пищевых масс / К.П. Гуськов [и др.]. Москва : Пищ. промышленность. 1970. 270 с.
13. Здобнов А.И., Цыганенко В.А. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий : для предприятий общественного питания. Киев: ООО "Издательство Арий"; Москва : "Лада" 2009. 680 с.
14. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания : [справочник]. М. : ДелоЛиоРинт, 2007. 275 с.
15. Липатов Н.Н., Юдина С.Б. Формализованный критерий аминокислотной сбалансированности белков геродиетических продуктов. Научные и практические аспекты совершенствования качества продуктов детского и геродиетического питания : сб. трудов 1-й междунар. конф. М. : Пищепромиздат, 1997. С. 140–141.
16. Частичная и полная замена мяса растительными белками в куриных колбасах: оценка механических, физико-химических и сенсорных характеристик / М.Х. Камани [и др.] // J. Food Sci Technol. 2019. № 56. С. 2660–2669.

Информация об авторах

Р. В. Крюк – к.т.н., старший преподаватель кафедры технологии продуктов питания животного происхождения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет» (КемГУ).

М. Г. Курбанова – д-р техн. наук, доцент, заведующая кафедрой технологии продуктов

питания животного происхождения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет» (КемГУ).

М. Мухим-заде – аспирант кафедры технологии продуктов питания животного происхождения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет» (КемГУ); инженер по автоматизации и механизации производственных процессов ИП «Волков».

В. А. Крюк – магистр кафедры бионанотехнологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет» (КемГУ).

А. С. Козлякина – студентка кафедры технологии продуктов питания животного происхождения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет» (КемГУ).

REFERENCES

1. Danowska-Oziewicz, M. (2014). The effect of soy protein isolate on the physicochemical properties, lipid oxidation, and organoleptic qualities of lean pork chops stored under vacuum, mapped, and frozen. *J Food preservative*. (38). 641-654.
2. Alamu, E.O. & Busi, M.D. (2019). Effect of textured soy protein (tsp) inclusion on organoleptic characteristics and acceptability of local dishes in Nigeria. *Cogent Food Agric.* (5). 1671749. DOI: 10.1080/23311932.2019.1671749.
3. Asgar, M.A., Fazilah, A., Khuda, N., Bhat, R. & Karim, A.A. (2010). Nonmeat Protein Alternatives as Meat Extenders and Meat Analogs. *Compr Rev Food Sci Food Safe.* (9). 513-529. doi: 10.1111/j.1541-4337.2010.00124.x.
4. Moisture analyzer. Analyzers (2015). Retrieved from <http://www.electronpribor.ru/catalog/974/mx-50.htm>. (In Russ.).
5. Lavrenova, Z.I., Denisyuk, E.A. & Zaletova, T.V. (2017). Effect of sprouted wheat on the quality, nutritional value, safety and economic efficiency of chopped semi-finished products. *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*. (2). 68-74. (In Russ.).
6. Chauhan, S.S., Lemaster, M.N., Clark, D.L., Foster, M.K. & Miller, K.E. (2019). Glycolysis and decrease in pH prematurely stop in oxidative muscles, despite the presence of excess glycogen. *Meat Muscle Biol.* (3). 254-264.
7. Kryuk, R.V., Kurbanova, M.G., Kolbina, A.Yu. [et al.] (2022). Color sensors in "intelligent packaging" of foodstuffs. 52(2). 321-333. (In Russ.).
8. Voroshilin, R.A., Kurbanova, M.G., Rasolov, S.N. & Ulrikh, E.V. (2020). Qualitative characteristics of rabbit meat when *Echinacea purpurea* L. extract is included in the diet. *Technique and technology of food production*. 50 (2). 185-193. (In Russ.). DOI 10.21603/2074-9414-2020-2-185-193. EDN MRCDUB.
9. Kurbanova, M.G., Voroshilin R.A. & Arustamyan V.S. (2021). Meat delicacies of Spain - features and technologies. *All about meat*. (1). 12-15. (In Russ.). DOI 10.21323/2071-2499-2021-1-12-15. EDN MBSSWE.
10. Tutelyan, V.A., Nikityuk, D.B. & Khotimchenko, S.A. (2017). Regulatory framework for assessing the quality and safety of food. *Russian Journal of Rehabilitation Medicine*. (2), 74-120. (In Russ.).
11. Ahirvar, R., Jayatilakan, K., Reddy, K.J., Pandey, M.S. & Batra, H.V. (2015). Development of a meat analogue based on mushroom and wheat gluten using the response surface methodology. *Int J Adv Res.* (3), 923-930.
12. Guskov, K.P., Machikhin, Yu.A., Machikhin, S.A. & Lunin, L.N. (1970). *Rheology of food masses*. M. : Pishch. Industry. (In Russ.).
13. Zdobnov, A.I. & Tsyganenko, V.A. (2013). *Collection of recipes for dishes and culinary products: for public catering establishments*. Kyiv : Ariy. Moscow : Lada. (In Russ.).
14. Skurikhin, I.M. & Tutelyan, V.A. (2007). *Tables of chemical composition and calorie content of Russian food products: [reference book]*. M. : DeLi print. (In Russ.).
15. Lipatov, N.H., Yudina, S.B. (1997). Formalized criterion of amino acid balance of proteins of gerodiet products. *Scientific and practical aspects of improving the quality of children's and gerodiet food products: Sat. Proceedings of the 1st Intern. conf. Moscow : Pishchepromizdat*, 140-141. (In Russ.).
16. Kamani, M.Kh., Mira, M.S., Bhaskar, N. & Modi, V.K. (2019). Partial and complete replacement of meat with vegetable proteins in chicken sausages: assessment of mechanical, physicochemical and sensory characteristics. *J. Food Sci Technol.* (56). 2660-2669.

Information about the authors

R.V. Kryuk - Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Food Technology of Animal Origin, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kemerovo State University" (KemGU).

M.G. Kurbanova - Dr. tech. in Science, Associate Professor, Head of the Department of Food Technology of Animal Origin, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kemerovo State University" (KemSU).

M. Mukhim-zade - postgraduate student of the Department of Food Technology of Animal Origin, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kemerovo State University" (KemSU); engineer for automation and mechanization of production processes, IP "Volkov".

V.A. Kryuk - Master of the Department of Bionanotechnology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kemerovo State University" (KemSU).

A.S. Kozlyakina - is a student of the Department of Food Technology of Animal Origin, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kemerovo State University" (KemSU).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 23.12.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 23 Dec 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОЛОЧНОГО МОРОЖЕНОГО ИЗ КОЗЬЕГО МОЛОКА СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ

Анна Валентиновна Ландиховская¹, Наталия Владимировна Казакова²

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

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

² nkazak.53@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2963-6294>

Аннотация. В данной работе изучались показатели качества мороженого, полученного с использованием сухого козьего молока, с различным содержанием СОМО – 10 % и 13 %. В качестве источника молочного жира и белка при приготовлении смеси для мороженого использовалось сублимированное козье молоко. Экспериментально определена криоскопическая температура смесей для мороженого с применением козьего молока, расчетным путем получены значения температуры выгрузки мороженого из фризера, обеспечивающие достижение количества вымороженной влаги в продукте на уровне не менее 50 %. Образцы мороженого с использованием козьего молока характеризуются меньшей твердостью: в образце № 1 данный показатель снижен на 38 %, в образце № 2 – на 48 % по сравнению с контрольным образцом, выработанным с применением коровьего молока. Замена коровьего молока козьим сказывается на титруемой кислотности продукта: в опытном образце мороженого с массовой долей СОМО 10 % она снижена на 3,5 °Т, в образце с массовой долей СОМО 13 % повышена на 1,5 °Т. Несмотря на это, полученные значения соответствуют требованиям нормативных документов, предъявляемым к данному показателю. В опытных образцах мороженого после гомогенизации смеси жировая фаза преобразуется в мелкодисперсную: на долю жировых шариков размером до 1,3 мкм приходится более 50 % от их общего количества, в контрольном образце данный показатель составляет менее 30 %. Замена коровьего молока козьим не оказывает влияния на дисперсность кристаллов льда, однако есть небольшие различия в формировании воздушной фазы мороженого после его закаливания. Молочное мороженое с использованием козьего молока можно производить на действующих предприятиях отрасли с целью расширения ассортимента, выпускаемой ею продукции. Использование сублимированного козьего молока позволит выпускать продукцию на удаленных от ферм предприятиях.

Ключевые слова: молочное мороженое, сублимированное козье молоко, показатели качества мороженого.

Благодарности: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

Для цитирования: Ландиховская А. В., Казакова Н. В. Показатели качества молочного мороженого из козьего молока сублимационной сушки // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 51–58. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.007. EDN: <https://elibrary.ru/VZGZDU>.

Original article

QUALITY INDICES OF MILK ICE CREAM OF SUBLIMATED DRIED GOAT MILK

Anna V. Landikhovskaya¹, Natalia V. Kazakova²

^{1, 2} All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry - branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

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

² nkazak.53@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2963-6294>

Abstract. The quality indices of the ice cream made by using dried goat milk with different content of nonfat milk solids (MSNF) were studied in this article. In the preparation of the ice cream mixture the sublimated goat milk as the source of protein and fat was used. The cryoscopic temperature of mixtures for the ice cream with the usage of goat milk was experimentally determined. The temperature of unloading the ice cream from freezer ensuring the achievement of frozen moisture in product at a level of at least 50% was calculated. The experimental samples of the ice cream made with the goat milk are characterized by less hardness: in the sample №1 this indicator decreased by 38%, and in the sample №2 by 48% compared to control sample made with the usage of cow milk. The replacement of cow milk with goat milk results on the titratable acidity of the product: in the experimental sample of the ice cream with 10% of MSNF it decreased by 3.5 °T, and in the sample of 13% of MSNF increased by 1.5 °T. Despite this, the obtained values meet the requirements of the regulatory documents for this indicator. In the experimental ice cream samples after the homogenization of mixture the fatty phase transforms into the finely dispersed: the fatty balls up to 1,3 μ m accounts for more than 50% of their total, in the control sample this indicator is less than 30 %. The replacement of cow milk with goat milk does not influence the dispersion of ice crystals though there is a small difference in the formation of the air phase of ice cream after its hardening. The dairy ice cream made with usage of goat milk can be produced at the ice cream production factories to add the assortment of the manufactured produce. The usage of dried sublimated goat milk will make it possible to manufacture the product at far away from the farms factories.

Keywords: Dairy ice cream, sublimated goat milk, ice cream quality indices.

Acknowledgements: The research was part the state task of the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

For citation: Landikhovskaya, A.V. & Kazakova, N.V. (2023). Quality indices of milk ice cream of sublimated dried goat milk. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 51-58. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.007. EDN: <https://elibrary.ru/VZGZDU>.

ВВЕДЕНИЕ

Молочные продукты являются неотъемлемой частью рациона питания. Доминирующая часть молочных продуктов производится на основе коровьего молока, однако часть ассортимента представлена козьим молоком и продуктами на его основе: сырами, йогуртами, творогом, ставшими популярными среди потребителей [1–3]. Сухое козье молоко в основном производят в Новой Зеландии, в Европе, Австралии и США [4]. Его чаще всего используют в производстве детских молочных смесей [5].

Количество продуктов, изготовленных на основе козьего молока, постепенно увеличивается, однако ассортимент их еще недостаточно широк. Связано это с тем, что поголовье коз по сравнению с крупным рогатым скотом так же, как

и надои от одного животного, ниже, что ограничивает объемы производимого козьего молока, а, следовательно, и продукции с его использованием.

Козье молоко менее аллергенно, по сравнению с коровьим, за счет меньшего количества в его составе фракции α_s -казеина [6, 7]. Коровье и козье молоко различаются между собой размерами жировых шариков. В козьем молоке на долю жировых шариков размером меньше 5 мкм приходится 80 % от общего их количества, в коровьем тот же показатель составляет 50 %. Это способствует лучшей усвояемости козьего молока [8]. В козьем молоке «выше – процентное содержание линолевой и олеиновой кислот» [2], «ниже – содержание холестерина и лактозы».

Основные показатели козьего и коровьего молока представлены в таблице 1.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2023

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОЛОЧНОГО МОРОЖЕНОГО ИЗ КОЗЬЕГО МОЛОКА СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ

Таблица 1 – Характеристика козьего и коровьего молока [7]

Table 1 - Characteristics of goat and cow milk [7]

Показатели	Козье	Коровье
Энергетическая ценность (ккал)	69	61
Общие сухие вещества (г/100г)	13,2	12,6
Жир (г/100г)	4,5	3,7
Общий белок (г/100г)	3,6	3,4
Лактоза (г/100г)	4,3	4,7
Минералы (г/100г)	0,8	0,7
Насыщенные жиры (всего)	2,67	2,08
Мононенасыщенные жиры (всего)	1,11	0,96
Полиненасыщенные жиры (всего)	0,15	0,12
Холестерин (мг)	11	14

Усвояемость козьего молока менее изучена по сравнению с коровьим. В работе [9] изучали переваривание козьего молока в желудке *invitro*. Авторами было установлено, что на процесс переваривания оказывает большее влияние гомогенизация, нежели тепловая обработка козьего молока, однако оба этих фактора также воздействуют на усвоение коровьего молока.

Мороженое на основе козьего молока производят в небольших количествах, поскольку сухое козье молоко имеет более высокую стоимость по сравнению с коровьим и существует дефицит подобного рода продукции [10]. Авторы работы [11] при изготовлении образцов мороженого использовали козье молоко цельное, обезжиренное и с массовой долей жира 2 %.

Козье молоко производится в небольших объемах, существенная доля которых приходится на весенне-летний период. В связи с этим существует необходимость его консер-

вирования, в том числе способом сублимационной сушки.

Целью данной работы является исследование показателей качества молочного мороженого на основе сублимированного козьего молока.

МЕТОДЫ

Изучались показатели качества смеси и мороженого на основе козьего молока. Контрольный образец – молочное мороженое по ГОСТ 31457-2012 (таблица 2). Для выработки образцов использовалось следующее сырье: сухое козье молоко, полученное методом сублимационной сушки (РОСБИОТЕХ, Россия), молоко сухое цельное и обезжиренное по ГОСТ 33629-2015, сахар по ГОСТ 33222-2015 и комплексная пищевая добавка «Ингресан» (Ingrema AG, Швейцария).

Сублимированное козье молоко вносили на стадии смешивания сухих компонентов.

Таблица 2 – Характеристика образцов мороженого

Table 2 - Characteristics of ice cream samples

Наименование показателей	Образец 1	Образец 2	Контроль
Массовая доля сухих веществ, %, не менее в т. ч.	29,0	33,0	29,5
молочного жира, %, не менее	3,3	4,3	3,5
СОМО, %, не менее	10,0	13,0	10,0
сахарозы, %, не менее	15,5	15,5	15,5
стабилизатора-эмulsатора, %, не менее	0,61	0,61	0,61

Для определения показателей смеси и мороженого применялись следующие методы:

1. Динамическую вязкость смеси определяли на вискозиметре Brookfield DV-II+Pro (США) с программным обеспечением Rheocalc V3.1-1[12].

2. Взбитость мороженого определяли в соответствии с методикой, приведенной в ГОСТ 31457-2012.

3. Кислотность смеси мороженого определяли по ГОСТ Р 54669-2011.

4. Криоскопическую температуру определяли на осмометр-криоскопе ОСКР-1 (Россия). За окончательный результат для каждого образца взято среднеарифметическое значение показателей (не менее 5 измерений).

5. Показатели твердости, адгезии и клейкости были получены с использованием

анализатора структуры Brookfield LFRA Texture Analyzer (США) с ПО Texture Pro Litev 1.1 [13].

6. Определение термо- и формоустойчивости мороженого проводили по методике ВНИХИ [14].

7. Дисперсность структурных элементов определяли с использованием микроскопа Olympus CX-41 (Япония). Для получения микрофотографий воздушных пузырьков и кристаллов льда использовали увеличение $\times 100$, для жировых глобул – $\times 1000$. Для фиксирования кристаллов льда дополнительно подсоединяли термокриостолик РЕ 120 (Ве-

Таблица 3 – Показатели смеси и мороженого
Table 3 - The parameters of mixtures and ice cream

Показатели	Образец 1	Образец 2	Контроль
Динамическая вязкость смеси, мПа·с	102,3 \pm 0,4	148,8 \pm 0,2	121,9 \pm 3,3
Титруемая кислотность, °Т	14,5	19,5	18,0
Криоскопическая температура,	-2,12 \pm 0,03 ^a	-2,52 \pm 0,17	-2,07 \pm 0,06 ^a
Температура выгрузки из фризера, °С	-5,2	-6,2	-6,1
Взбитость, %	81,0	88,0	57,0
Значения с одинаковой буквой в одной строке не имеют значимых различий ($p > 0,05$)			

Для выработки образцов использовали комплексную пищевую добавку, не придающую смесям для мороженого высокой вязкости, что обусловлено целью определения влияния на этот показатель непосредственно козьего молока. Установлено, что значение данного показателя у образца мороженого с использованием козьего молока с массовой долей СОМО 10 % снижено на 16 % по сравнению с контрольным образцом. Увеличение СОМО до уровня 13 % повысило динамическую вязкость смеси относительно контроля на 22 %.

Таблица 4 – Структурно-механические показатели образцов мороженого

Table 4 - The structural mechanical parameters of ice cream samples

Показатели	Образец 1	Образец 2	Контроль
Твердость, г	182,7 \pm 32,9 ^a	157,2 \pm 30,1 ^a	298,7 \pm 66,8
Адгезионная сила, г	-28,3 \pm 5,2 ^a	-32,2 \pm 5,8 ^{ab}	-39,6 \pm 8,5 ^b
Клейкость, гс	-113,4 \pm 28,3 ^a	-144,8 \pm 36,3 ^{ab}	-189,8 \pm 41,0 ^b
Значения с одинаковой буквой в одной строке не имеют значимых различий ($p > 0,05$)			

На рисунках 1 и 2 приведены данные по определению показателей термо- и формоустойчивости мороженого исследованных образцов. Самый устойчивый к таянию образец № 1: через 60 мин с начала термостатирования образовалось 17 % плава. В образ-

лиобритания) с постоянно поддерживаемой на нем температурой минус 18 °С. Подсчёт структурных элементов проводили в программе Image Scope M (Россия).

Математическую обработку полученных данных проводили с использованием программ Excel и Past 4.03.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Замена коровьего молока и продуктов на его основе козьим молоком оказывает влияние на показатели смеси и мороженого, основные из которых представлены в таблице 3.

Все исследованные образцы мороженого обладали хорошей способностью к насыщению воздухом. Однако взбитость опытных образцов № 1 и № 2 была выше, чем у контроля на 42 % и 54 % соответственно.

В таблице 4 приведены данные по определению структурно-механических показателей образцов мороженого. Установлено, что образцы № 1 и № 2 менее твердые по сравнению с контролем.

цах № 2 и контроле через это же время образовалось 30 % и 25 % плава соответственно.

При визуальной оценке определено, что через 40 мин с начала термостатирования образцы с козьим молоком лучше сохраняют форму.

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОЛОЧНОГО МОРОЖЕНОГО ИЗ КОЗЬЕГО МОЛОКА СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ

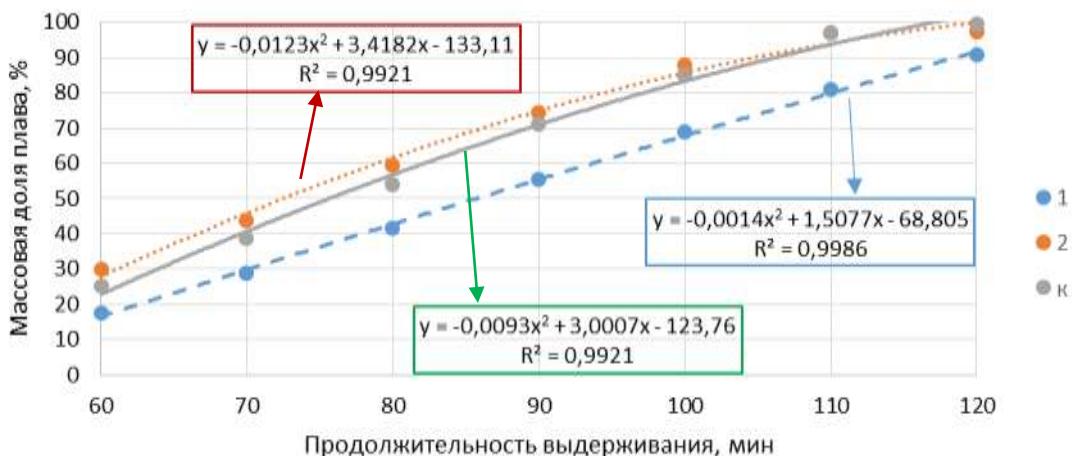


Рисунок 1 – Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания

Figure 1 -The dependence of mass fraction of melt on the duration of exposure



А

Б

Рисунок 2 – Состояние порций мороженого при выдерживании в термостате при температуре $(20 \pm 1,5) ^\circ\text{C}$: А – начало термостатирования, Б – через 40 мин

Figure 2 - The state of ice cream portions being kept in thermostat at the temperature of $(20 \pm 1.5) ^\circ\text{C}$ А - start of thermostating, Б - after 40 min

В образцах было изучено состояние жировой фазы (рисунок 3). Средний диаметр жировых частиц в образцах № 1 и № 2 соста-

вил $(1,33 \pm 0,05) \text{ мкм}$ и $(1,30 \pm 0,19) \text{ мкм}$ соответственно, в контрольном образце данный показатель был на уровне $(1,5 \pm 0,35) \text{ мкм}$.

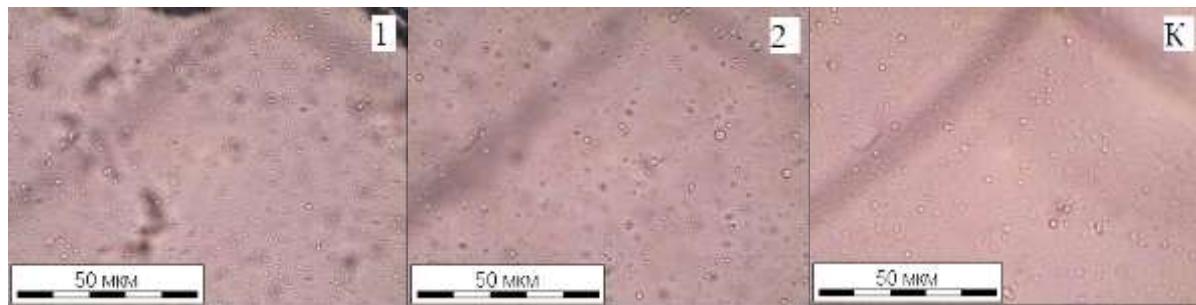


Рисунок 3 – Микрофотографии жировой фазы в образцах, увеличение $\times 100$.

Figure 3 - Micrographs of the fatty phase in the samples, enlargement x100

Однако при оценке распределения жировых шариков по размерам в образцах были выявлены отличия ($p < 0,05$) (рисунок 4).

В мороженом с козьим молоком отмечалось наличие более мелких жировых глобул по сравнению с контрольным образцом.

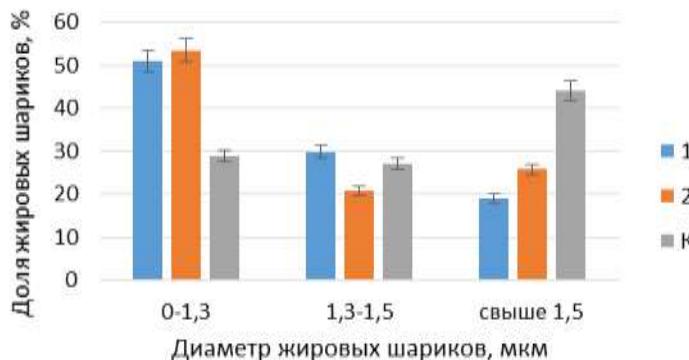


Рисунок 4 – Распределение жировых шариков по размерам

Figure 4 - Distribution of fatty balls by their sizes

В таблицах 5 и 6 приведены данные об изменении состояния воздушной фазы и кристаллов льда в течение 3 месяцев хранения

при температуре минус (20 ± 2) °С при отсутствии колебаний температуры.

Таблица 5 – Показатели дисперсности воздушной фазы

Table 5 - Parameters of air phase dispersion

Показатель	Образец № 1	Образец № 2	Контроль
Закаливание			
Средний диаметр воздушных шариков, мкм	27,0±0,43	35,0±0,82	34,2±0,71
Доля размером до 50 мкм, %	92,0	76,3	83,4
Через 3 месяца хранения			
Средний диаметр воздушных шариков, мкм	38,6±0,79	34,8±0,59	37,4±0,71
Доля размером до 50 мкм, %	74,5	80,4	78,5

Таблица 6 – Показатели дисперсности кристаллов льда

Table 6 - Parameters of ice crystals dispersion

Показатель	Образец № 1	Образец № 2	Контроль
Закаливание			
Средний размер кристаллов льда, мкм	34,8±0,43	36,4±0,45	33,9±0,45
Доля размером до 50 мкм, %	86,8	85,3	88,4
Через 3 месяца хранения			
Средний размер кристаллов льда, мкм	36,1±0,68	37,4±0,52	39,2±0,63
Доля размером до 50 мкм, %	83,3	82,9	76,7

ОБСУЖДЕНИЕ

Для увеличения динамической вязкости смеси в мороженом с использованием козьего молока до уровня 200–250 мПа·с рекомендовано использовать более эффективную стабилизационную систему.

Установленная разница в значениях титруемой кислотности исследованных образцов мороженого обусловлена различным соотношением сывороточных белков и казеина и содержанием минеральных солей в молоке коровьем и козьем. Однако значения этих показателей не превышают 23 °Т, установленного для молочного мороженого ТР ТС 033/2013. Таким образом, все образцы имеют

кислотность, удовлетворяющую данному требованию.

Результаты определения криоскопической температуры позволили установить температурные режимы выгрузки мороженого из фризера, что актуально для мороженого из козьего молока, поскольку козье и коровье молоко отличаются по количественному содержанию низкомолекулярных веществ (лактоза, минеральные соли), влияющих на температуру замерзания смеси во фризере. Образец № 1 (массовая доля СОМО 10 %) можно выгружать из цилиндра фризера при температуре не выше минус 4,4 °С также, как и контрольный образец. Температуру выгрузки образца № 2 с целью получения продукта с

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОЛОЧНОГО МОРОЖЕНОГО ИЗ КОЗЬЕГО МОЛОКА СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ

массовой долей вымороженной влаги не менее 50 % необходимо понизить до уровня не выше минус 5,3 °С.

Различная твердость в образцах мороженого из козьего и коровьего молока объясняется не только меньшим содержанием казеина в белке козьего молока, но и его фракционным составом. Подтверждением этому могут служить данные о том, что при производстве козьего сыра образующийся за счет казеина сгусток более мягкий по сравнению со сгустком в сыре на основе коровьего молока [15].

Различия в термоустойчивости образцов мороженого скорее всего обусловлены отличиями в размерах воздушных пузырьков после закаливания.

В смесях мороженого с козьим молоком на стадии гомогенизации образуются более мелкие жировые глобулы с преобладающим диаметром до 1,3 мкм (более 50 %), что также может быть обусловлено различным соотношением казеина и сывороточных белков в козьем и коровьем молоке.

Как видно из таблицы 5, в образце № 1 изначально образуются более мелкие воздушные пузырьки, их средний диаметр на 20 % ниже, чем в контрольном образце. Более мелкая воздушная фаза менее стабильна, что через 3 месяца хранения привело к укрупнению воздушных пузырьков в данном образце на 27 %, в то время как в контрольном образце всего на 9 %. В образце с увеличенной до 13 % массовой долей СОМО изменений в дисперсности воздушной фазы отмечено не было ($p > 0,05$).

Дисперсность кристаллов льда (таблица 6) в образце с козьим молоком и контроле не имеет статистически значимых отличий ($p > 0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены показатели качества молочного мороженого из козьего молока сублимационной сушки. Определена температура выгрузки такого мороженого из фризера с содержанием СОМО 10 % и 13 %. Полученные образцы характеризуются хорошими технологически значимыми показателями, которые не уступают контролльному образцу, а где-то и превосходят его. Поскольку мороженое с козьим молоком не требует изменений в технологии производства, то его можно производить на действующих предприятиях. Это позволит расширить ассортимент молочного мороженого, а также продукции на основе козьего молока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Effect of the inclusion of lemon leaves and rice straw by-products in the diet of dairy goats on the quality characteristics of milk and matured cheeses / N. Huanca [et al.] // International Dairy Journal. – 2021. № 120. С. 105082. doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105082.
2. The influence of almond flour, inulin and whey protein on the sensory and microbiological quality of goat milk yogurt / A. Mazzaglia [et al.] // LWT. 2020. 109138. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109138.
3. Состояние и перспективы развития производства мягких и полутвёрдых сыров на основе козьего молока / Н.Б. Гаврилова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. № 4. Т. 1. С. 126–132. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.016.
4. Sert D., Mercan E. Production and characterisation of goat milk powder made from sonicated whole milk concentrates // International Dairy Journal. 2022. Volume 129. 105333. doi: 10.1016/j.idairyj.2022.105333.
5. Elucidating the physicochemical properties and surface composition of goat milk-based infant formula powders / Q. Chen [et al.] // Food Chemistry. 2022. Volume 377. 131936. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131936.
6. Goat milk authentication based on amino acid ratio and chemometric analysis / M. Kang [at al.] // Journal of Food Composition and Analysis. 2022. Volume 111. 104636. doi: 10.1016/j.jfca.2022.104636.
7. Clark, S., Mora García, M.B. A 100-Year Review: Advances in goat milk research // Journal of Dairy Science. 2017. 100(12). P. 10026–10044. doi: 10.3168/jds.2017-13287.
8. Turkmen, N. The Nutritional Value and Health Benefits of Goat Milk Components // Nutrients in Dairy and their Implications on Health and Disease. 2017. P. 441–449. doi: B978-0-12-809762-5.00035-8.
9. Dynamic in vitro gastric digestion behavior of goat milk: Effects of homogenization and heat treatments / Li S. [at al.] // Journal of Dairy Science. 2022. Volume 105, issue 2. P. 965–980. doi: 10.3168/jds.2021-20980.
10. Pandya, A.J., Ghodke, K.M. Goat and sheep milk products other than cheeses and yoghurt // Small Ruminant Research. 2007. 68 (1–2). P. 193–206. doi: 10.1016/j.smallrumres.2006.09.
11. Mc Ghee, C.E., Jones, J.O., Park, Y.W. Evaluation of textural and sensory characteristics of three types of low-fat goat milk ice cream // Small Ruminant Research. 2015. 123 (2–3). P. 293–300. doi: 10.1016/j.smallrumres.2014.1.
12. Research of the effect of aging process on dispersion of air phase and ice crystals in milk ice cream / A.A. Tvorogova [at al.] // Food systems. 2020. 3(2). P. 14–17. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-2-14-17>.
13. Гурский И.А., Творогова А.А. Влияние концентратов сывороточных белков на технологические и органолептические показатели качества мороженого // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 439–448. doi: 10.21603/2074-9414-2022-3-2376.
14. Совершенствование композиционного состава и структуры молочного мороженого / А.А. Творогова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2018. № 2 (48). С. 109–116. doi: 10.21603/2074-9414-2018-2-109-116.
15. Технологические особенности сыра типа

камамбер, выработанного на основе коровьего и козьего молока / К.А. Канина [и др.] // Известия ТСХА. 2020. выпуск 3. С. 121–130. doi: 10.26897/0021-342X-2020-3-121-133.

Информация об авторах

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

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

REFERENCES

1. Huanca, N., Beltrán, M.C., Fernández, C. & Molina, M.P. (2021). Effect of the inclusion of lemon leaves and rice straw by-products in the diet of dairy goats on the quality characteristics of milk and matured cheeses. International Dairy Journal, 120, 105082. doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105082.
2. Mazzaglia, A., Legarová, V., Giaquinta, R., Lanza, C.M. & Restuccia, C. (2020). The influence of almond flour, inulin and whey protein on the sensory and microbiological quality of goat milk yogurt. LWT, 109138. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109138.
3. Sert, D. & Mercan, E. (2022). Production and characterisation of goat milk powder made from sonicated whole milk concentrates International Dairy Journal, Volume 129, 105333. doi: 10.1016/j.idairyj.2022.105333.
4. Gavrilova, N.B., Shchetinina, E.M., Chernopolskaya, N.L. & Shchetinin, M.P. (2022). State and prospects of development of the production of soft and semi-hard cheeses based on goat milk. Polzunovskiy vestnik, 4 (1), 126-132. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.016.
5. Chen, Q., Yin, Q., Xie, Q., Evivie, S.E., Zhao, X., Li, B. & Huo, G. (2022). Elucidating the physicochemical properties and surface composition of goat milk-based infant formula powders // Food Chemistry, Volume 377, 131936. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131936.
6. Kang, M., Wang, H., Shi, X., Chen, H., Suo, R. (2022). Goat milk authentication based on amino acid ratio and chemometric analysis // Journal of Food Composition and Analysis, Volume 111, 104636. doi: 10.1016/j.jfca.2022.104636.
7. Clark, S. & Mora García, M.B. (2017). A 100-Year Review: Advances in goat milk research. Journal of Dairy Science, 100(12), 10026-10044. doi: 10.3168/jds.2017-13287.
8. Turkmen, N. (2017). The Nutritional Value and Health Benefits of Goat Milk Components. Nutrients in Dairy and their Implications on Health and Disease, 441-449. doi: B978-0-12-809762-5.00035-8.
9. Li S., Ye, A., Pan, Zh., Cui, J., Dave, A., Singh, H. (2022). Dynamic in vitro gastric digestion behavior of goat milk: Effects of homogenization and heat treatments. Journal of Dairy Science, Volume 105, issue 2, P. 965-980. doi: 10.3168/jds.2021-20980.
10. Pandya, A.J. & Ghodke, K.M. (2007). Goat and sheep milk products other than cheeses and yoghurt. Small Ruminant Research, 68 (1-2), 193-206. doi: 10.1016/j.smallrumres.2006.09.
11. McGhee, C.E., Jones, J.O. & Park, Y.W. (2015). Evaluation of textural and sensory characteristics of three types of low-fat goat milk ice cream. Small Ruminant Research, 123 (2-3), 293-300. doi: 10.1016/j.smallrumres.2014.1.
12. Tvorogova, A.A., Sitnikova, P.B., Shobanova, T.V. & Zakirova, R.R. (2020). Research of the effect of aging process on dispersion of air phase and ice crystals in milk ice cream. Food systems, 3(2), 14-17. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-2-14-17>.
13. Gurskiy, I.A. & Tvorogova, A.A. (2022). The Effect of Whey Protein Concentrates on Technological and Sensory Quality Indicators of Ice Cream. Food Processing: Techniques and Technology, 52(3), 439-448. (In Russ.). doi: 10.21603/2074-9414-2022-3-2376.
14. Tvorogova, A.A., Shobanova, T.B., Landikhovskaya, A.V. & Zakirova, R.R. (2018). Milk ice cream composition and structure improvement. Food Processing: Techniques and Technology, Vol. 48, No. 2, pp. 109-116 (In Russ.). doi: 10.21603/2074-9414-2018-2-109-116.
15. Kanina, K.A., Zhizhin, N.A., Semyonova, Ye.S., Pastukh, O.N. & Atanasov, P.R. (2020). Technological features of camembert cheese made from cow's and goat's milk. Izvestiya of timiryazev agricultural academy. (3). 121-130. (In Russ.). doi: 10.26897/0021-342X-2020-3-121-133.

Information about the authors

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

Н.В. Kazakova - Candidate of Technical Sciences, Leading Research Associate, the laboratory of ice cream technology, VNIKHI - Branch of Gorbatov Federal Research Center for Food Systems.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 29.12.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 29 Dec 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ НАПИТКОВ

Светлана Павловна Меренкова¹, Оксана Владимировна Зинина²

^{1, 2} Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

¹ merenkovasp@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8795-1065>

² zininaov@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3729-1692>

Аннотация. Применение микроэмulsionей (МЭ), стабилизованных микрокристаллической целлюлозой (МКЦ) в составе растительных заменителей молока, предполагает широкий спектр положительных эффектов, включая повышение пищевой ценности, улучшение коллоидной стабильности напитка. Целью данного исследования являлось изучение структуры и микробиологических показателей растительных ферментированных напитков, приготовленных на основе семян конопли, стабилизованных микроэмulsionией. При микроскопии во всех образцах напитков с микроэмulsionией четко видно равномерное распределение частиц клеточных стенок семян конопли и мелких капель жира с адсорбированными на поверхности волокнами. Многочисленные волокна микроцеллюлозы формируют коллоидную матрицу на поверхности раздела фаз вода–масло, что препятствует коалесценции капель масла. При внесении в напитки МЭ стабилизированной МКЦ отмечается значительное увеличение вязкости напитков по сравнению с контрольным неферментированным образцом, до 3,89 мПа·с. Ферментация растительной основы обусловила значительное возрастание вязкости напитков на 8,8–15,5 % – для напитков без внесения микроэмulsionии; на 28,8–60,1 % – для напитков, стабилизованных МЭ. Неферментированные напитки отличаются меньшим диаметром частиц и их распределением в диапазоне от 0,97 до 6,5 мкм (85–90 % частиц). Причем для напитков, стабилизованных микроэмulsionией, наблюдалось уменьшение среднего диаметра гидродинамического частиц почти в 2 раза, а также монодисперсный характер системы. В результате ферментации количество живых бифидобактерий и пропионовокислых бактерий во всех образцах напитков увеличилось по сравнению с инокулированным количеством и после 7 суток хранения оставалось на уровне, характерном для пробиотических продуктов. Результаты исследований показали, что комплексный эффект совместного применения ультразвукового воздействия, потенциала пробиотических бактерий и технологических свойств микроцеллюлозы при получении ферментированного напитка позволили сформировать стабильную пищевую систему, сохраняющую свои свойства в течение 7 суток хранения. Высокое содержание в напитках пробиотических микроорганизмов позволяет рекомендовать его для специализированного питания.

Ключевые слова: растительные напитки, микробная ферментация, микроэмulsionия, микроцеллюлоза, динамическая вязкость, дисперсность системы, пробиотические свойства.

Для цитирования: Меренкова С. П., Зинина О. В. Исследование структуры и микробиологических показателей ферментированных растительных напитков // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 59–66. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.008. EDN: <https://elibrary.ru/QBEXPD>.

Original article

STUDY OF THE STRUCTURE AND MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF FERMENTED PLANT BEVERAGES

Svetlana P. Merenkova ¹, Oksana V. Zinina ²

^{1,2} South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

¹ merenkovasp@susu.ru <https://orcid.org/0000-0002-8795-1065>

² zininaov@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3729-1692>

Abstract. The use of microemulsions (ME) stabilized with microcrystalline cellulose (MCC) in plant-based milk substitutes suggests a wide range of positive effects, including increasing nutritional value, improving the colloidal stability of the beverage. The purpose of this study was to study the structure and microbiological parameters of plant fermented beverages prepared on the basis of hemp seeds, stabilized by microemulsion. During microscopy of all beverage samples with microemulsion, a uniform distribution of cell walls particles and small droplets of fat with MCC fibers adsorbed on the surface is clearly visible. Numerous microcellulose fibers form a colloidal matrix on the surface of the water-oil phase interface, which prevents coalescence of oil droplets. When a stabilized microemulsion with MCC is introduced into the plant beverages, there is a significant increase in the viscosity of beverages compared to the control non-fermented sample, up to 3.89 mPa·s. Fermentation of the plant base caused a significant increase in the viscosity of drinks by 8.8–15.5% - for drinks without microemulsion; and by 28.8–60.1% – for drinks stabilized by ME. Non-fermented beverages have smaller particle diameters and distributions ranging from 0.97 to 6.5 μm (85–90% of particles). Moreover, for drinks stabilized by microemulsion, there was a decrease in the average hydrodynamic diameter of particles by almost 2 times, as well as the monodisperse nature of the system. As a result of fermentation, the number of live bifidobacteria and propionic acid bacteria in all beverage samples increased compared to the inoculated amount, and after 7 days of storage remained at a level characteristic for probiotic products. The results of the studies showed that the complex effect of the combined use of ultrasonic exposure, the potential of probiotic bacteria and the technological properties of the microcellulose in obtaining a plant fermented beverages made it possible to form a stable food system that retains its properties for 7 days of storage. The high content of live probiotic microorganisms in beverages makes it possible to recommend it for specialized nutrition.

Keywords: plant beverages, microbial fermentation, microemulsion, microcellulose, dynamic viscosity, dispersion of the system, probiotic properties.

For citation: Merenkova S.P. & Zinina O.V. (2022). Study of the structure and microbiological indicators of fermented plant beverages. Polzunovskiy vestnik, (1), 59-66. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.008. EDN: <https://elibrary.ru/QBEXPD>.

ВВЕДЕНИЕ

Для решения задач социально-экономического развития страны важно разрабатывать инновационные технологии эффективной переработки зернового и масличного сырья, в том числе и получение специализированных напитков на растительной основе, которые пользуются значительным спросом у отдельных групп населения вследствие низкого содержания аллергенов и антипитательных веществ [1].

Растительные заменители молока представляют собой водорастворимые супензии или эмульсии, состоящие из измельченного растительного сырья. Коллоидная и эмульсионная стабильность пищевых систем обеспе-

чивается технологическими подходами, для экстракции сырья и гомогенизации напитка; гидрофильтральными и поверхностно-активными свойствами компонентов, входящих в состав напитка. Производители вводят в рецептуру напитков технологические добавки, обладающие стабилизирующими свойствами, вещества, регулирующие поверхностное натяжение на границе раздела фаз [2].

В многочисленных научных публикациях представлены высокотехнологичные методы получения напитков на растительном сырье. При этом экспериментально обосновывается применение СВЧ поля для производства заменителей молока на основе ядер орехов [3]; ультразвукового воздействия (УЗВ) для эффективной технологии получения протеино-

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ НАПИТКОВ

вых напитков на основе обезжиренной муки из ядра кедровых орехов [4]; предложена принципиальная технологическая схема получения овсяного молока [5]. Установлено, что использование ультразвука дает возможность получать коллоидно-стабильные эмульсии с различным содержанием сухих веществ и растворимого белка [6]. Доказано, что белки семян масличных культур могут проявлять эмульгирующие и стабилизирующие свойства, которые усиливаются при ультразвуковом воздействии [7].

Применение микроэмulsionей, стабилизированных биополимером в составе растительных заменителей молока, предполагает широкий спектр положительных эффектов, включая повышение коллоидной стабильности напитка, ингибирование радикально-окислительных реакций. Перспективно применение в качестве стабилизаторов структуры микроэмulsionей натуральных высокомолекулярных соединений, в частности микрокристаллической целлюлозы (МКЦ) [8, 9].

Микробная ферментация растительной основы позволяет улучшить биодоступность и усвояемость эссенциальных компонентов напитков, а подбор промышленных культур микроорганизмов даст возможность выпускать продукты с пробиотическими свойствами [10]. Получаемые растительные напитки, ферментированные промышленными культурами микроорганизмов, могут быть рекомендованы для специализированного питания при непереносимости лактозы, молочного белка; а также для функционального питания как источник пробиотических микроорганизмов и антиоксидантных соединений [11, 12].

Целью данного исследования являлось изучение структуры и микробиологических показателей растительных ферментированных напитков, приготовленных на основе семян конопли, стабилизированных микроэмulsionей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изготовления растительного напитка использовали семена конопли сорта «Надежда», урожай 2021 г. Химический состав семян следующий: содержание белка – 22,1 %; жира – 30,6 %; углеводов – 16,9 %; клетчатки – 21,8 %.

Для получения эмульсии использовали масло конопляное, полученное методом холодного отжима из семян конопли; в качестве стабилизатора применяли микрокристаллическую целлюлозу (МКЦ) – Р-2019/USP-41 с

размером частиц 200 mesh (70–80 микрон) (Silverlinechemicals, Индия).

Бактериальные концентраты (ООО "Пропионикс", Россия), содержащие пробиотические закваски, использовали для ферментации растительных напитков:

- propionix, концентрированная микробная масса штамма *Propionibacteriumfreudenreichii* subsp. *shermanii* KM 186 с активностью 10^{10} – 10^{11} КОЕ/см³;

- бактериальный жидкий концентрат *Bifidobacteriumlongum* B379M с активностью 10^{11} – 10^{12} КОЕ/см³.

Объектами исследования являлись образцы растительных напитков, полученные на основе семян конопли. Технология получения растительной основы заключалась в замачивании семян на 24 часа, их измельчении, грубой фильтрации, гомогенизации, повторной тонкой фильтрации с последующей пастеризацией.

Параллельно готовили микроэмulsionю (МЭ), стабилизированную микрокристаллической целлюлозой, при постоянной гомогенизации ультразвуком. В качестве рабочего инструмента использовали аппарат ультразвуковой «ВОЛНА-Л» УЗТА-0,63/22-ОЛ, (Россия) с рабочим инструментом погружного типа. Обработку проводили при следующих режимах УЗВ: мощность – 630 Вт, частота (20 ± 2) кГц в течение 20 мин при контроле температуры не более 40 °С.

Для стабилизации растительной основы полученную МЭ вводили в количестве 5 % от массы напитка при одновременном импульсном УЗВ (частота (12 ± 2) кГц; по 1 мин – дважды). Для ферментации напитков, стабилизированных МЭ, применяли пробиотические закваски, которые вводили в количестве 3 % от массы напитка (инокулировано в 100 мл растительной основы $3 \cdot 10^8$ КОЕ/см³). Напитки ферментировали при 38–40 °С в течение 8–10 ч до образования слабого сгустка и достижения уровня pH ниже 4,7. Напитки охлаждали до (4 ± 2) °С и хранили в течение 7 дней.

Для исследования изготовили следующие образцы: 3 образца напитков без микроэмulsionи (Напиток контр; Напиток контр + Bif; Напиток контр + Prop) и 3 образца напитка, стабилизированные микроэмulsionей (Напиток + МЭ с МКЦ; Напиток + МЭ с МКЦ+Bif; Напиток + МЭ с МКЦ+Prop).

Общее количество пробиотических бактерий определяли согласно ГОСТ Р 56139-2014 с использованием кукурузно-лактозной среды ГМК-1, с приготовлением препаратов для микроскопии для подтверждения видовой принадлежности и окрашиванием по Граму.

Динамическую вязкость образцов определяли с использованием вибрационного анализатора вязкости SV AND камертонного типа. Измерение проводилось в течение 60,0 с при $(22,0 \pm 2,0)$ °С.

Изучение дисперсного состава и анализ размера частиц в образцах проводились методом лазерного динамического рассеяния света на лазерном дифракционном анализаторе Microtrac S3500. Программа: Microtrac FLEX 10.6.1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Масло и вода не смешиваются из-за высокого межфазного натяжения. Поверхностно-активные вещества добавляются для снижения межфазного натяжения и позволяют

легко создавать дисперсные среды и, кроме того, создают энергетический барьер между каплями масла, полученными при эмульгировании, и тем самым препятствуют их слиянию. В соответствии с теорией межфазного натяжения молекулы одной из фаз адсорбируются на границе раздела двух жидкостей [13]. Следовательно, чем ниже межфазное натяжение, тем выше адсорбция поверхностно-активного вещества на границе раздела. Как показывают исследования ферментированных растительных напитков, микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) способна снижать межфазное натяжение систем, адсорбируясь на границе раздела масло–вода, что хорошо видно на микропрепаратах (рисунок 1), и подтверждают ее поверхностную активность.

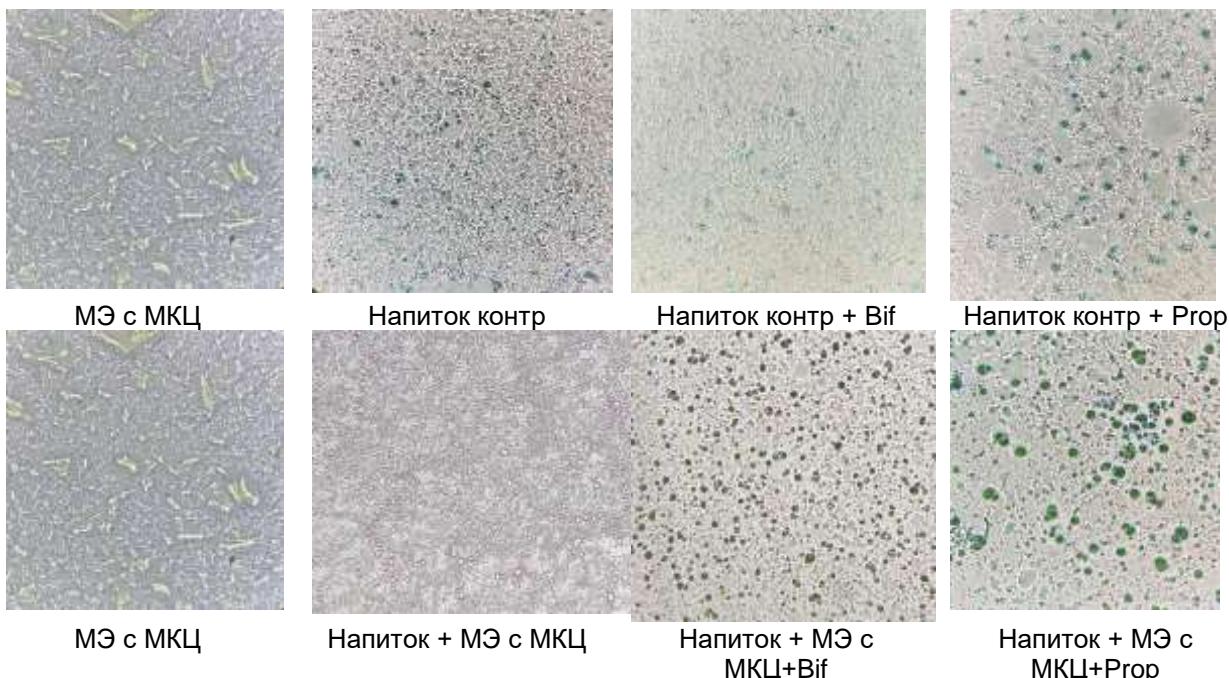


Рисунок 1 – Микроструктура ферментированных растительных напитков (увеличение x400)

Figure 1 - Microstructure of fermented plant beverages (magnification x400)

Во всех образцах напитков с микроэмulsionей, стабилизированной МКЦ, четко видно равномерное распределение частиц клеточных стенок семян конопли и мелких капель жира с адсорбированными на поверхности волокнами МКЦ. Многочисленные волокна МКЦ распределены по всему объему напитка, формируя коллоидную сетку белково-полисахаридной матрицы на поверхности раздела фаз вода–масло, что препятствует коалесценции капель масла. Как отмечено в литературе, трехмерная матрица формируется при малых концентрациях МКЦ в напитках на

водной и молочной основе и обеспечивает поддержание твердых частиц во взвешенном состоянии [14].

Динамическая вязкость является косвенным показателем, характеризующим уровень метаболической активности микроорганизмов при ферментации напитков. Динамику вязкости ферментированных напитков устанавливали в течение 7 суток хранения при температуре (4 ± 2) °С. При внесении в напитки МЭ стабилизированной МКЦ отмечается значительное увеличение вязкости напитков по сравнению с контрольным неферментиро-

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ НАПИТКОВ

ванным образцом до 2,27 мПа·с уже в первые сутки, и дальнейшее возрастание данного показателя до 3,89 мПа·с к пятим суткам хранения. Данная тенденция связана с гидрофильтральными свойствами микроцеллюлозы.

Ферментация растительной основы обусловила значительное возрастание вязкости напитков на 8,8–15,5 % – для напитков без внесения микроэмulsionии; на 28,8–60,1 % – для напитков, стабилизованных МЭ с МКЦ.

Максимальные значения вязкости установлены для напитков, содержащих МЭ с МКЦ, ферментированных бифидобактериями на 4–6 сутки хранения (5,76–5,26 мПа·с), установленная закономерность обусловлена способностью МКЦ формировать связанную структуру пищевой системы, а также активностью микроорганизмов в присутствии пребиотического субстрата (рисунок 2).

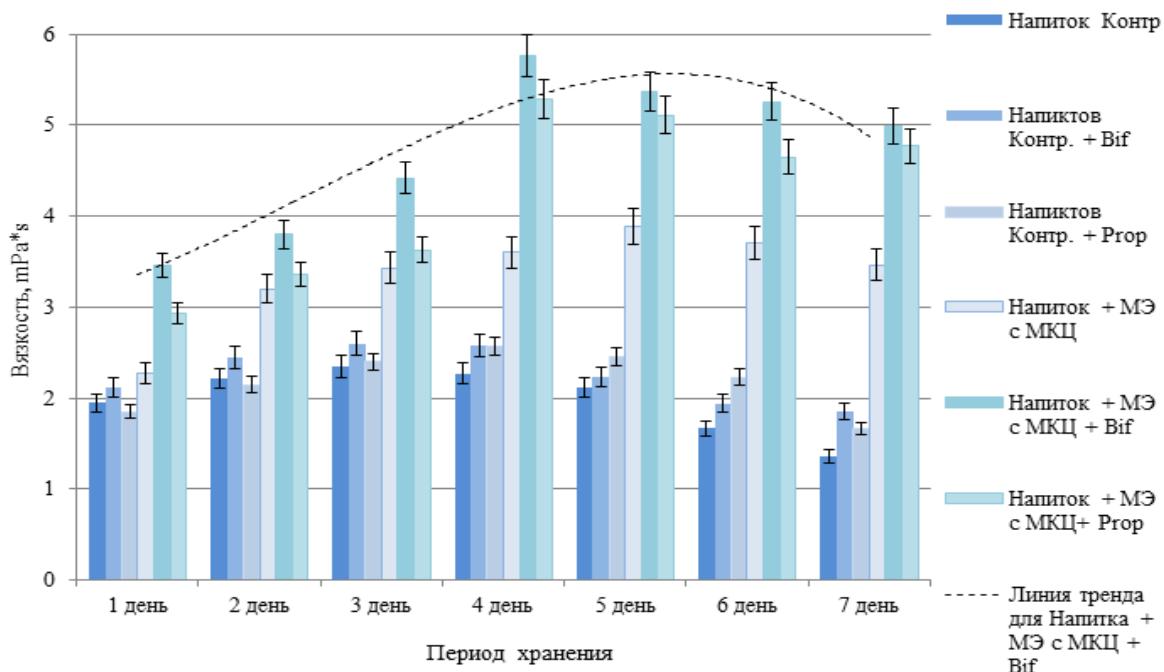


Рисунок 2 – Динамическая вязкость ферментированных растительных напитков

Figure 2 - Dynamic viscosity of fermented plant beverages

При анализе дисперсности пищевой системы растительных напитков установлено, что неферментированные напитки (Напиток Контр и Напиток+ МЭ с МКЦ) отличаются меньшим диаметром частиц и их распределением в диапазоне от 0,97 до 6,5 мкм (85–90 % частиц). Причем для напитков, стабилизованных микроэмulsionией, наблюдалось уменьшение среднего размера частиц почти в 2 раза, а также монодисперсный характер системы.

При ферментации напитка в связи с формированием белково-полисахаридной матрицы в системе напитка, накоплением микроорганизмами экзополисахаридов наблюдается возрастание среднего гидродинамического диаметра частиц. Для ферментированных напитков средний диаметр частиц составил без внесения микроэмulsionии 14,99–19,13 мкм, для напитков, стабилизованных МЭ, – 10,67–13,05 мкм (рисунок 3).

В процессе ферментации происходит активное развитие полезной микрофлоры, что приводит к улучшению пищевой ценности и органолептических свойств за счет накопления полезных метаболитов, таких как органические кислоты, витамины, бактериоцины, биологически-активные вещества. Peirotéen и др. (2020) отметили потенциал молочнокислых бактерий и бифидобактерий в производстве ферментированного соевого напитка, обогащенного биоактивными изофлавонами [15].

В нашем эксперименте в результате ферментации количество живых бифидобактерий и пропионовокислых бактерий во всех образцах напитков увеличилось по сравнению с их начальным количеством до $3 \cdot 10^6$ КОЕ/см³ и незначительно снизилось после 7 суток хранения напитков (таблица 1), однако оставалось на уровне, характерном для пробиотических продуктов, не менее $1 \cdot 10^7$ КОЕ/см³ (для бифидобактерий не менее $1 \cdot 10^6$ КОЕ/см³) [16, 17].

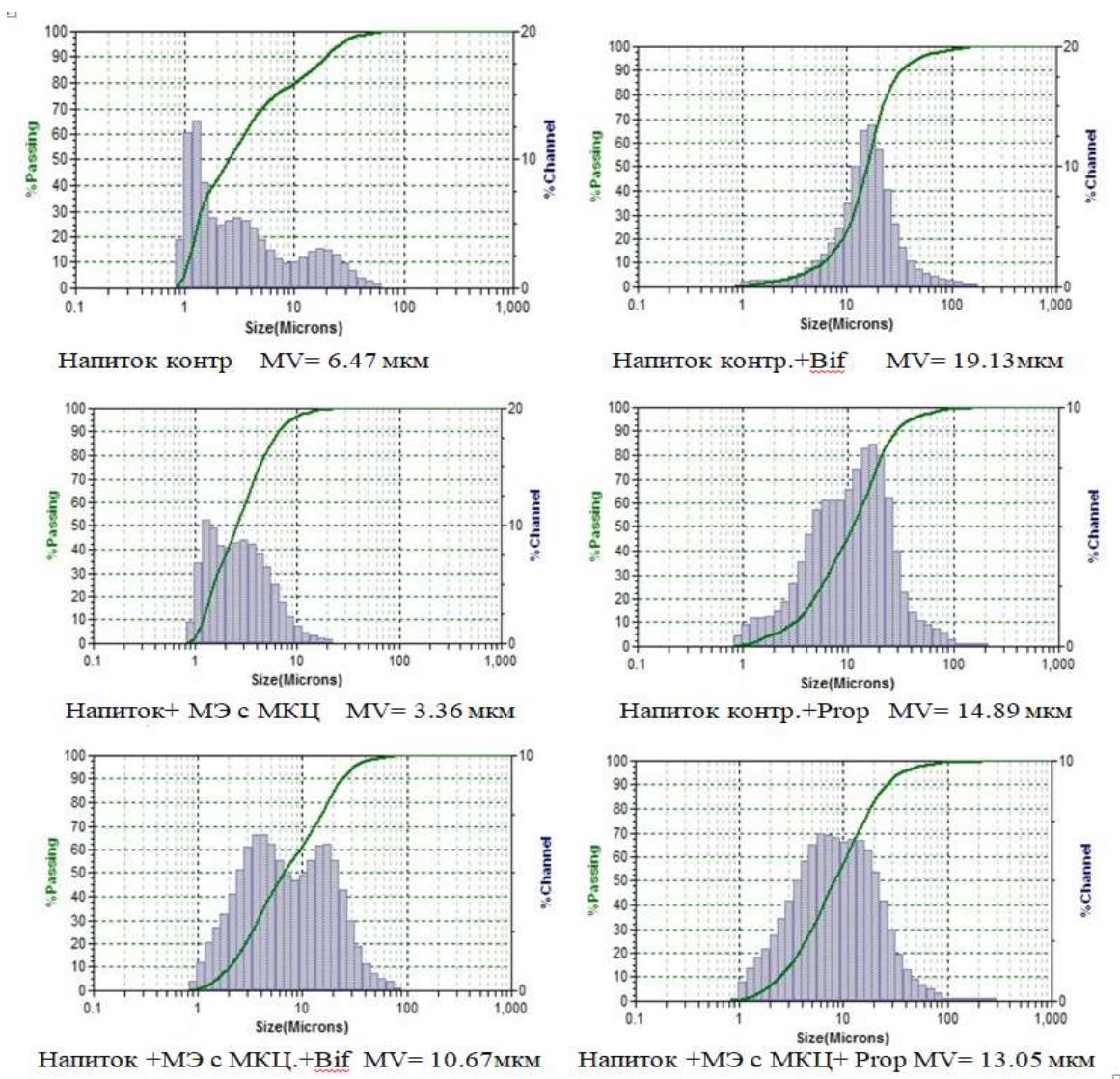


Рисунок 3 – Результаты оценки дисперсного состава растительных напитков

Figure 3 - Results of the evaluation of the dispersed composition of plant beverages

Таблица 1 – Динамика общего количества пробиотических бактерий в ферментированных напитках в процессе хранения

Table 1 - Dynamics of the total number of probiotic bacteria in fermented beverages during storage

Образец напитка	Показатель	
	Количество пробиотических микроорганизмов, КОЕ/см ³ после ферментации	Количество пробиотических микроорганизмов, КОЕ/см ³ через 7 суток хранения
Напиток контр.+Bif	$(2,6 \pm 0,2) \cdot 10^7$	$(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^7$
Напиток контр.+Prop	$(3,1 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^8$
Напиток + МЭ с МКЦ+ Bif	$(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^8$	$(3,1 \pm 0,1) \cdot 10^7$
Напиток + МЭ с МКЦ+ Prop	$(4,0 \pm 0,3) \cdot 10^9$	$(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^9$

Патогенные микроорганизмы, которые могут присутствовать в пищевых продуктах, не только делают их опасными, но и влияют

на содержание активных компонентов, ухудшают органолептические свойства [18, 19]. После ферментации напитков, а также после

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ НАПИТКОВ

7 суток хранения во всех образцах отсутствовали бактерии группы кишечной палочки (БГКП), сальмонеллы, дрожжи и плесени, что говорит о микробиологической безопасности исследуемых продуктов. Имеются данные, что пробиотические бактерии видов *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Bifidobacterium* оказывают угнетающее действие на патогенные виды, такие как *Clostridium*, *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia*, *Helicobacter*, *Campylobacter*, *Candida* [20].

ВЫВОДЫ

Результаты исследований показали, что комплексный эффект совместного применения нетеплового физического воздействия (УЗВ), потенциала пробиотических бактерий и технологических свойств МКЦ при получении ферментированного напитка позволили сформировать стабильную пищевую систему, сохраняющую свои свойства в течение 7 суток хранения. Высокое содержание в напитках живых пробиотических микроорганизмов и отсутствие патогенных микроорганизмов позволяет рекомендовать его для специализированного питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксёнов В.В. Внедрение инновационных технологий в переработку зернового сырья // Вестник КрасГАУ. 2012. № 2. С. 208–212
2. Егорова Е.Ю. «Немолочное молоко»: обзор сырья и технологий // Ползуновский вестник. 2018. № 3. С. 25–34.
3. Жебо А.В., Алешков А.В., Каленик Т.К. Технология и характеристика заменителей молока на растительной основе // Вестник ВСГУТУ. 2019. № 4(75). С. 25–31.
4. Акинфеева А.В., Егорова Е.Ю. Влияние режимов обработки на характеристики эмульсионных напитков из орехового сырья // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании: материалы VII Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2020.
5. Кожевникова А.Ю., Петрова Ю.В. Получение растительного молока как рецептурного ингредиента напитка "смузи" // Пищевые инновации и биотехнологии: материалы V Международной научной конференции. Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), 2017. С. 299–301.
6. Меренкова С.П., Тесалова Д.Г. Анализ эффективности методов экстракции для получения растительных напитков с оптимальными свойствами // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2021. Т. 9(1). С. 48–56. DOI: 10.14529/food210106.
7. Ушаповский В.И., Гончарова А.А., Миневич И.Э. Влияние переработки на белковый комплекс семян конопли // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84. № 1(91). С. 66–72.
8. Structure of cellulose and microcrystalline cellulose from various wood species, cotton and flax studied by X-ray scattering / K. Leppänen, S. Anderson, M. Torkkeli [et al.] // Cellulose. 2009. V. 16. P. 999–1015.
9. Мехедькин А.А. Развитие рынка желатина и гидроколлоидов. // Управление рисками в АПК. 2020. № 4 (38). С. 57–63.
10. Microbial Fermentation and Its Role in Quality Improvement of Fermented Foods / R. Sharma, P. Garg, P. Kumar [et al.] // Fermentation. 2020. 6(4). 6040106.
11. The development of novel probiotic fermented plant milk alternative from flaxseed oil cake using *Lactobacillus rhamnosus* GG acting as a preservative agent against pathogenic bacteria during short-term refrigerated storage. / Ł. Łopusiewicz, E. Drożłowska, P. Trocę [et al.] // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2021. 33(4). P. 266–267.
12. Вебер А.Л., Леонова С.А., Никифорова Т.А. Разработка ферментированного продукта с использованием дисперсии из гороха отечественной селекции // Вестник МГТУ. 2021. Т. 24, № 4. С. 383–395.
13. Obtaining annatto seed oil miniemulsions by ultrasonication using aqueous extract from Brazilian ginseng roots as a biosurfactant / T.M.G. Rosa, E. Keven Silva, D.T. Santos [et al.] // Journal of Food Engineering, 2016. 168P. 68–78. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.024.
14. Аутлов С.А., Базарнова Н.Г., Кушнир Е.Ю. Микрокристаллическая целлюлоза: структура, свойства и области применения // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С. 33–41.
15. Production of O-desmethylangolensin, tetrahydrodaidzein, 6'-hydroxy-O-desmethylangolensin and 2-(4-hydroxyphenyl)-propionic acid in fermented soy beverage by lactic acid bacteria and *Bifidobacterium* strains / A. Peiroten, P. Gaya, I. Alvarez [et al.] // Food Chemistry. Volume 318. 2020. 126521. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126521.
16. Cichońska P., Zielińska A., Ziarno M. Properties of Rice-Based Beverages Fermented with Lactic Acid Bacteria and *Propionibacterium* // Molecules. 2022.27/ 2558. https://doi.org/10.3390/ molecules27082558.
17. Огнева О.А., Донченко Л.В. Пектиносодержащие напитки с пробиотическими свойствами // Политеатматический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 107. С. 333–341.
18. Bintsis T. Foodborne pathogens // AIMS Microbiol. 2017. № 3. Р. 529–563.
19. Федоренко Е.В., Коломиец Н.Д., Сычик С.И. Актуальные проблемы микробиологической безопасности пищевой продукции // Гигиена и санитария. 2016. № 9. http://dx.doi.org/10.1882/0016-9900-2016-9-873-878.
20. Synbiotic Effects of Fermented Rice on Human Health and Wellness: A Natural Beverage That Boosts Immunity / F. Shivkanya, M. Jyoti, T. Manash Pratim [et al.] // Frontiers in Microbiology. 2022. V. 13. doi=10.3389/fmicb.2022.950913.

Информация об авторах

С. П. Меренкова – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет).

О. В. Зинина – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет).

REFERENCES

1. Aksenov, V.V. (2012). Introduction of innovative technologies in the processing of grain raw materials. *Bulletin of KrasGAU*. 2. 208-212. (In Russ.).
2. Egorova, E.Yu. (2018) "Non-dairy milk": a review of raw materials and technologies. *Polzunovsky vestnik*. 3. 25-34. (In Russ.).
3. Zhebo, A.V. [et al]. (2019). Technology and characteristics of plant-based milk substitutes. *Bulletin of VSGUT*. 4(75). 25-31. (In Russ.).
4. Akinfeeva, A.V. & Egorova, E.Yu. (2020). The influence of processing modes on the characteristics of emulsion drinks from nut raw materials. *Innovative technologies in the food industry and public catering: proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference*. (In Russ.).
5. Kozhevnikova, A.Yu. & Petrova, Yu.V. (2017). Obtaining vegetable milk as a prescription ingredient of the smoothie drink. *Food innovations and Biotechnologies: Proceedings of the V International Scientific Conference*. Kemerovo. 299-301. (In Russ.).
6. Merenkova, S.P. & Tesalova, D.G. (2021). Analysis of the efficiency of extraction methods for obtaining herbal beverages with optimal properties. *Bulletin of SUSU. The series "Food and biotechnology"*. 9 (1). 48-56. DOI: 10.14529/food210106. (In Russ.).
7. Shchapovsky, V.I. [et al]. (2022). The effect of processing on the protein complex of hemp seeds. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 84. 1(91). 66-72. (In Russ.).
8. Leppänen, K. [et al]. (2009). Structure of cellulose and microcrystalline cellulose from various wood species, cotton and flax studied by X-ray scattering. *Cellulose*. 16. 999-1015.
9. Mehedkin, A.A. (2020). Development of the gelatin and hydrocolloid market. Risk management in the agro-industrial complex. 4 (38). 57-63. (In Russ.).
10. Sharma, R. [et al]. (2020). Microbial Fermentation and Its Role in Quality Improvement of Fermented Foods. *Fermentation*. 6(4). 6040106.
11. Łopusiewicz, Ł. [et al]. (2021). The development of novel probiotic fermented plant milk alternative from flaxseed oil cake using *Lactobacillus rhamnosus* GG acting as a preservative agent against pathogenic bacteria during short-term refrigerated storage. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 33(4). 266-267.
12. Weber, A.L. [et al.] (2021). Development of a fermented product using dispersion from peas of domestic selection. *Vestnik MSTU*. 24(4). 383-395. (In Russ.).
13. Rosa, T.M.G. [et al.] (2016). Obtaining annatto seed oil miniemulsions by ultrasonication using aqueous extract from Brazilian ginseng roots as a biosurfactant. *Journal of Food Engineering*, 168. 68-78. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.024.
14. Outlov, S.A. [et al.] (2013). Microcrystalline cellulose: structure, properties and applications. *Chemistry of plant raw materials*. 3. 33-41. (In Russ.).
15. Peiroten, A. [et al.] (2020). Production of O-desmethylangolensin, tetrahydrodaidzein, 6'-hydroxy-O-desmethylangolensin and 2-(4-hydroxyphenyl)-propionic acid in fermented soy beverage by lactic acid bacteria and *Bifidobacterium* strains. *Food Chemistry*. 318. 126521, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126521.
16. Cichońska, P. [et al.] (2022). Properties of Rice-Based Beverages Fermented with Lactic Acid Bacteria and *Propionibacterium*. *Molecules*. (27). 2558. https://doi.org/10.3390/molecules27082558.
17. Ogneva, O.A. & Donchenko, L.V. (2015). Pectin-containing beverages with probiotic properties. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. (107). 333-341. (In Russ.).
18. Bintsis, T. (2017). Foodborne pathogens. *AIMS Microbiol*. (3). 529-563.
19. Fedorenko, E.V. [et al.] (2016). Actual problems of microbiological safety of food products. *Hygiene and sanitation*. (9). (In Russ.). http://dx.doi.org/10.1882/0016-9900-2016-9-873-878.
20. Shivkanya, F. [et al.] (2022). Synbiotic Effects of Fermented Rice on Human Health and Wellness: A Natural Beverage That Boosts Immunity. *Frontiers in Microbiology*. 13. doi=10.3389/fmicb.2022.950913.

Information about the authors

S.P. Merenkova - candidate of Veterinary Sciences, associate Professor of Department of Food and Biotechnology, South Ural State University.

O.V. Zinina - candidate of Agricultural Sciences, associate Professor of Department of Food and Biotechnology, South Ural State University.

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

Статья поступила в редакцию 29.12.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 29 Dec 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕРАФИНИРОВАННЫХ МАСЕЛ ЧИА РАЗНЫХ ТОРГОВЫХ МАРОК

Наталья Леонидовна Наумова¹, Юлия Александровна Бец²

^{1, 2} Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

¹ n.naumova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0586-6359>

² bets.jul@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8206-3061>

Аннотация. Масло из семян чиа (*Salvia hispanica L.*) остается новинкой для российского рынка, реализуется в основном через систему интернет-продаж и зачастую не сопровождается документами о качестве. Целью исследования явилась сравнительная оценка качества и пищевой ценности нерафинированных масел чиа торговых марок «Ufeelgood» (проба 1) и «Сибирская клетчатка» (проба 2). Органолептические свойства образцов масла были идентифицированы как характерные для продукта данного вида. Фактические уровни ПЧ и КЧ, влаги и летучих веществ не превысили регламентированных норм ТР ТС 024/2011 и Codex Alimentarius. Codex Stan 210-1999. Уровни жирных кислот входили в свойственные числовые интервалы, основные жирные кислоты были ранжированы в последовательности: а-линоленовая > линолевая > пальмитиновая ~ олеиновая > стеариновая кислоты, соотношение ω -6: ω -3 ПНЖК составило 1:3, что в совокупности было характерным для липидного профиля масла чиа. В пробе 1 выявлен более разнообразный состав ПНЖК семействе ω -3 и ω -6 за счет дополнительного содержания эйкозадиеновой, эйкозатриеновой, арахидоновой и докозагексаеновой кислот. При этом уровень транс-изомеров жирных кислот был на 15,8 % выше, но не превысил допустимого предела согласно ТР ТС 024/2011. Проба 2 отличалась преимуществом в количестве полифенолов (в 9,3 раза), стоимости товара (цена ниже в 3,4 раза), но уступала по величине АОА (на 21,2 %) образцу-конкуренту. Присутствие эруковой кислоты (0,040 \pm 0,001 %) в пробе 1 и высокий уровень α -токоферола (343,96 \pm 9,03 мг/кг) в пробе 2 требуют проведения дополнительных исследований для исключения возможности фальсификации. Установлено несоответствие обеих проб нетрадиционного масла требованиям ТР ТС 024/2011 в части полноты потребительской маркировки, что является недопустимым и позволяет изъять их из товарооборота.

Ключевые слова: масло чиа, *Salvia hispanica*, качество, нутриентный состав, жирные кислоты.

Для цитирования: Наумова Н. Л., Бец Ю. А. Сравнительная оценка нерафинированных масел чиа разных торговых марок // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 67–74. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.009. EDN: <https://elibrary.ru/VWPBTO>.

Original article

COMPARATIVE ASSESSMENT OF UNREFINED CHIA OILS OF DIFFERENT BRANDS

Natalya L. Naumova ¹, Yulia A. Bets ²

^{1, 2} South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

¹ n.naumova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0586-6359>

² bets.jul@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8206-3061>

Abstract. Chia seed oil (*Salvia hispanica L.*) remains a novelty for the Russian market, it is sold mainly through the Internet sales system and is often not accompanied by quality documents. The aim of the study was a comparative assessment of the quality and nutritional value of unrefined chia oils of the trademarks "Ufeelgood" (sample 1) and "Siberian Fiber" (sample 2). The organoleptic properties of the oil samples were identified as characteristic of this type of product. The actual levels of PN and AN, moisture and volatile substances did not exceed the regulated norms of TR CU 024/11 and Codex Alimentarius. Codex Stan 210-1999. The levels of fatty acids were included in the characteristic numerical intervals, the main fatty acids were ranked in the sequence: α -linolenic > linoleic > palmitic ~ oleic > stearic acid, the ratio ω -6: ω -3 PUFA was 1:3, which in aggregate was characteristic of the lipid profile of chia oil. In sample 1, a more diverse composition of PUFAs of the ω -3 and ω -6 families was revealed due to the additional content of eicosadienoic, eicosatrienoic, arachidonic and docosahexaenoic acids. At the same time, the level of trans-fatty acids was 15.8% higher, but did not exceed the allowable limit according to TR CU 024/2011. Sample 2 had an advantage in the amount of polyphenols (by 9.3 times), the cost of goods (the price was 3.4 times lower), but was inferior in terms of AOA (by 21.2%) to the competitor sample. The presence of erucic acid (0.040 \pm 0.001%) in sample 1 and the high level of α -tocopherol (343.96 \pm 9.03 mg/kg) in sample 2 require additional testing to exclude the possibility of falsification. It was established that both samples of non-traditional oil did not comply with the requirements of TR CU 024/2011 in terms of the completeness of consumer labeling, which is unacceptable and allows them to be withdrawn from trade.

Keywords: chia oil, *Salvia hispanica*, quality, nutrient composition, fatty acids.

For citation: Naumova, N.L. & Betz, Yu.A. (2023). Comparative evaluation of unrefined chia oils of different brands. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 67-74. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.009. EDN: <https://elibrary.ru/VWPBTO>.

ВВЕДЕНИЕ

Семена чиа (*Salvia hispanica L.*), исторически являющиеся продовольственной культурой коренных народов Мексики и Гватемалы, в настоящее время широко используются (с кашами, соусами, овощами, блюдами из риса, йогуртами, в составе напитков, батончиков, выпечки) не только в Австралии, Боливии, Колумбии, Перу, Аргентине, Америке, Европе, но и в России, благодаря высокому содержанию α -линоленовой кислоты и антиоксидантным свойствам [1, 2]. Они содержат белок (16–26 %), углеводы (37–45 %), липиды (31–34 %), пищевые волокна (22–40 %), минеральные элементы, мг/100 г – Ca (456–631), P (860–919), K (407–726) и Mg (335–449), витамины, мг/100 г – C (1,6), PP (8,8), B₁ (0,6), E (0,5), B₂ (0,2) и др., полифенолы – галловую, цеаниновую, розмариновую, хлорогеновую, коричную и

феруловую кислоты, кверцетин, кемпферол, эпикатехин, рутин, апигенин и др. [3–5].

Многочисленные исследования липидной составляющей семян чиа не установили существенных отличий между белыми и черно-пестрыми семенами в содержании жира и жирнокислотном составе, однако выявлены различия в этих показателях в зависимости от региона произрастания культуры. Так, определена значительная разница в количествах пальмитиновой, олеиновой, линолевой и α -линоленовой жирных кислот в составах масел семян *Salvia hispanica L.*, выращенных в разных географических районах Эквадора. Эквадорские семена, к примеру, имеют несколько большее содержание линоленовой кислоты (63,3–67,3 %), чем семена из Мичоакана, Оахаки, Чьяпаса и Пуэбла (59,9–63,4 %) [6]. К настоящему времени известно, что масло чиа из обжаренных семян содер-

жит меньше α -, β -, γ -, δ -токоферолов, β - и γ -токофериенолов [7].

До настоящего времени это масло все еще остается относительной новинкой для российского рынка, реализуется в основном через систему интернет-продаж и зачастую не сопровождается документами о качестве товара. В этой связи целью исследования явилась сравнительная оценка качества и пищевой ценности нерафинированных масел чиа разных торговых марок.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований явились масла чиа холодного отжима (рисунок 1) разной ценовой категории, приобретенные через систему интернет-заказов на официальных сайтах производителей:

- проба 1, ТМ «Ufeelgood», цена 2732 руб./л, <https://ufeelgood.ru>;
- проба 2, ТМ «Сибирская клетчатка», цена 810 руб./л, <https://tfzp.ru>.

Все испытания проводили в январе 2022 г. в пределах срока годности продукции. Органолептические показатели масел определяли по ГОСТ 5472-50, количество влаги и летучих веществ методом гравиметрии – по ГОСТ 11812-66, перекисное (ПЧ) и кислотное (КЧ) числа жира методом титриметрии – по ГОСТ 26593-85 и ГОСТ 31933-12 соответственно. Состав жирных кислот анализировали по ГОСТ 31663-12 и ГОСТ 31665-12, используя аппаратно-программный комплекс на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000» («Хроматэк», Россия), в качестве стандартного образца применяли смесь метиловых эфиров жирных кислот в метиленхлориде (Cis/Trans FAME Vix) Cas 35079, Restek. Содержание α -токоферола определяли по МВИ 43-08 на хроматографе жидкостном Prominence («Shimadzu», Япония), в качестве стандартного образца использовали α -Tocopherol, CAS № 10191-41-0, Sigma-Aldrich. Антиоксидантную активность (АОА) масел изучали по [8], общее содержание полифенолов – по [9] на спектрофотометре UV-1800 («Shimadzu», США). Качество продукции сравнивали с нормами ТР ТС 024/11 и Codex Alimentarius. Codex Stan 210-1999, регламентированными для нерафинированных масел.

Требования СТО 67008287.051-17 в свободном доступе интернет-пространства на время проведения исследований отсутствовали.



проба 1

проба 2

Рисунок 1 – Внешний вид упаковки и маркировки масел

Figure 1 - Appearance of packaging and labeling of oils

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными целями создания системы маркировки товаров считаются: контроль прослеживаемости продукции от производителя до потребителя, защита производителей от подделки их продукции, автоматизированный контроль и учет продукции со стороны государственных органов и защита здоровья конечных потребителей [10, 11]. В этой связи изучение реквизитов потребительской маркировки нетрадиционных масел приобретает особенный смысл. Установлено (таблица 1), что из всех требований технических регламентов, предъявляемых к маркировке пищевой, в том числе масложировой продукции, проба 1 не содержит сведений о документе, в соответствии с которым произведен и может быть идентифицирован товар; проба 2 не имеет четкой информации об условиях хранения масла до и после вскрытия потребительской упаковки. Кроме того, в текстах маркировки обеих проб масла не указано о его «соответствии требованиям ТР ТС 024/2011», что является недопустимым.

Таблица 1 – Реквизиты маркировки масел

Table 1 - Details of the marking of oils

Обязательные реквизиты маркировки согласно ТР ТС 024/2011, ТР ТС 022/2011	Результаты исследований масла	
	проба 1	проба 2
Наименование продукции	масло чиа холодного отжима	масло чиа нерафинированное холодного отжима
Состав	масло чиа 100 %	отсутствует*
Пищевая ценность на 100 г	жиры – 99,5 г	жиры – 99 г
Энергетическая ценность на 100 г	884 ккал/3712,8 кДж	920 кКал/3850 кДж
Дата изготовления (разлива)	май 2021	23.11.2021 (26.11.2021)
Срок годности	12 мес.	12 мес.
Наименование и место нахождения изготовителя	ООО «Фабрика ЗОЖ», 129626, г. Москва, ул. 2-я Мытищинская, д. 2, стр. 2	ООО «Сибирская клетчатка», 634021, Томская обл., г. Томск, пр. Фрунзе, д. 109, оф. 107
Рекомендации и (или) ограничения по использованию	отсутствует*	не подвергать термической обработке
Сведения о документе, в соответствии с которым произведена и может быть идентифицирована продукция	отсутствует	СТО 67008287.051-17
Единый знак обращения продукции на рынке	присутствует	присутствует
Масса нетто и (или) объем	250 мл	200 мл
Условия хранения (после вскрытия потребительской упаковки)	хранить в темном месте при температуре от +3 до +28 °C и ОВВ не более 80 % (хранить не более 2 мес.)	хранить в темном прохладном месте (хранить в герметично закрытой таре)

Примечание: * - допускается согласно ТР ТС 022/2011

Нормируемыми показателями безопасности для растительных масел являются кислотное (КЧ) и пероксидное (ПЧ) числа как показатели гидролитической и окислительной порчи. Они характеризуют степень свежести жира и отражают пригодность масла для пищевых целей. Выявлено (таблица 2) соответствие величин указанных показателей регламентированным нормам ТР ТС 024/11 и Codex Stan 210-1999, что согласуется с результатами органолептической оценки масла чиа, у которого были определены характерные [12, 13] для обеих проб потребительские свойства без прогорклых запаха и привкуса. Известно, что цвет масла обусловлен присутствием каротиноидов в диапазоне от 0,53 мг/кг до 1,21 мг/кг с преобладанием β-формы [12, 13].

Содержание влаги и летучих веществ в исследуемых образцах масла не превысило уровня, прописанного в международном стандарте. Несмотря на существенное превосходство пробы 2 в количествах α-токоферола и полифенолов (в 9,3 раза), обладающих выраженными антиоксидантными свойствами, АОА самого продукта несколько уступала (на 21,2 %) образцу-конкуренту. Общеизвестно, что с антиоксидант-

ными эффектами *S. hispanica* связаны фенольные (розмариновая, галловая, кофейная, хлорогеновая кислоты, даншенсу, кверцетин, мирицетин и кемпферол) и липофильные (каротиноиды, токоферолы, фосфолипиды, α-липоевая кислота) соединения [3, 5, 7]. В этой связи установленные результаты, скорее всего, связаны с дисбалансом других соединений, обладающих АОА, но не изученных в ходе данных исследований.

Известно, что масла семян чиа содержат около 238–427 мг/кг токоферолов, преимущественно γ-токоферола (> 85 %) и δ-токоферола; α-токоферол обнаружен в концентрациях 0,4–9,9 мг/кг, а β-токоферол не обнаружен вовсе [12]. Это согласуется с другими научными результатами, где доминирующим соединением в масле чиа также выступает γ-токоферол с содержанием 422 мг/кг (при общем содержании 446 мг/кг) жира [14]. Предположительно относительно высокий уровень δ-токоферола в пробе 2 может быть обусловлен как сортовой особенностью семян чиа, из которых получено данное масло, так и его дополнительным введением для ингибирования перекисного окисления липидов.

Таблица 2 – Показатели качества и химический состав масел
Table 2 - Quality indicators and chemical composition of oils

Показатель	Норма по ТР ТС 024/11 (Codex Stan 210-1999)**, не более	Результаты исследований масла	
		проба 1	проба 2
Прозрачность	не регламентируется	прозрачное, без осадка	
Цвет	не регламентируется	желтый	
Вкус и запах	(характерный для продукта данного вида)**	легкий травяной запах, обезличенный вкус	
ПЧ, мэкв/кг	10,0 (15,0)**	5,42 ± 0,05	4,50 ± 0,06
КЧ, мг КОН/г	4,0	0,71 ± 0,04	1,21 ± 0,08
М. д. влаги и летучих ве- ществ, %	не регламентируется (0,2)**	0,103 ± 0,002	0,117 ± 0,002
Содержание витамина Е (α -токоферола), мг/кг	не регламентируется	< 25	343,96 ± 9,03
Антиоксидантная активность, %		24,93 ± 0,37	19,64 ± 0,44
Общее содержание полифенолов, ммоль/л экв. галловой кислоты		6,96 ± 0,25	64,59 ± 3,06

Описанный выше антиоксидантный комплекс обеспечивает определенную стабильность масла чиа к окислению, несмотря на высокое содержание в нем полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), недостаточное потребление которых приводит к развитию различных заболеваний, в том числе кожи и почек, нарушениям половой функции и т.д.

В последнее время значительный интерес отводится присутствию в рационах питания у различных групп населения ω -3 ПНЖК. Масло семян *S. hispanica* состоит, главным образом, из чистых или смешанных триглицеридов линоленовой (ω -3) и линолевой (ω -6) кислот [15]. При этом жирные кислоты семейства ω -3 наиболее дефицитны для диеты современного человека, а значит и наиболее важны, как эссенциальные макронутриенты. Они обладают способностью блокировать дисфункции кальциевых и натриевых каналов, снижая риск развития гипертонии, улучшать парасимпатический тонус, оказывать антиаритмическое, защитное, иммуномодулирующее и антиоксидантное действия [16].

По данным ряда исследователей, жирнокислотный состав семян чиа изменчив и зависит от региона произрастания и агротехнических приемов возделывания культуры, метода предварительной обработки, условий хранения и размера семян и др. [6, 17, 18]. Определено (таблица 3), что количественные уровни жирных кислот обеих проб масла входят в числовые интервалы, описанные в литературных источниках [19–22, 25–27]; основ-

ные жирные кислоты ранжированы в следующей последовательности: α -линоленовая > линолевая > пальмитиновая ~ олеиновая > стеариновая кислоты, что согласуется с результатами, описанными иностранными учеными [12, 14, 25–27]; соотношение ω -6: ω -3 ПНЖК составляет 1:3 и является свойственным для данного вида масла [12, 13, 23–27].

В пробе 1 выявлен более разнообразный состав ПНЖК семейств ω -3 и ω -6 за счет дополнительного содержания эйкозадиеноной, эйкозатриеновой, арахидоновой и докозагексаеновой кислот. Присутствие мононенасыщенной эруковой кислоты, характерной, в первую очередь, для масел из семян семейства крестоцветных (рапсового, горчичного, сурепового, рыхикового) и др., делает актуальным вопрос о подлинности этой пробы масла и требует проведения дополнительных исследований, поскольку в изученных литературных данных [12–14, 19–22, 25–27] не нашлось сведений о ее присутствии в профиле жирных кислот семян и масла чиа. Уровень транс-изомеров жирных кислот в пробе 1 был на 15,8 % выше, но не превысил регламентированной нормы (не более 2,0 %) согласно ТР ТС 024/2011.

Ценовой фактор во время совершения покупки является решающим при других идентичных свойствах товаров, в этой связи проба 2 (цена 810 руб./л) имеет существенное преимущество на фоне пробы 1 (цена 2732 руб./л).

Таблица 3 – Жирнокислотный состав масел
Table 3 - Fatty acid composition of oils

Наименование кислоты	Литературные данные	Результаты исследований масла, %	
		проба 1	проба 2
Насыщенные кислоты:			
миристиновая С 14:0	0,04 [19]	0,050 ± 0,001	0,060 ± 0,001
пентадекановая С15:0	0,02 [19]	–	–
пальмитиновая С 16:0	5,80–7,47 [19–22, 25–27]	6,68 ± 0,21	7,13 ± 0,24
маргариновая С 17:0	0,05 [19]	0,050 ± 0,001	0,060 ± 0,001
стеариновая С 18:0	0,29–4,30 [19–21, 25–29]	2,55 ± 0,09	3,39 ± 0,11
арахиновая С 20:0	0,15 [19]	0,24 ± 0,01	0,27 ± 0,01
бензиновая С 22:0	0,06 [19]	0,080 ± 0,003	0,080 ± 0,004
лигноцериновая С 24:0	нет данных	0,080 ± 0,002	0,080 ± 0,003
Мононенасыщенные кислоты:			
пальмитолеиновая С 16:1	< 0,2 [19, 20]	0,14 ± 0,01	0,22 ± 0,01
олеиновая С 18:1	2,43–10,70 [19–22, 25–27]	6,45 ± 0,20	7,22 ± 0,19
гадолеиновая С 20:1	0,03 [19]	–	–
гондоиновая С 20:1	нет данных	0,14 ± 0,01	0,15 ± 0,01
эрковая С 22:1		0,040 ± 0,001	–
Полиненасыщенные кислоты:			
линолевая С 18:2ω6	18,90–20,56 [19–22, 25–27]	18,71 ± 0,63	18,81 ± 0,09
γ-линоленовая С 18:3ω6	0,31 [19]	0,40 ± 0,02	0,33 ± 0,01
α-линоленовая С 18:3ω3	59,63–68,52 [19–22, 25–27]	64,00 ± 1,37	62,01 ± 2,05
эйкозадиеновая С 20:2ω6	нет данных	0,050 ± 0,002	–
эйкозатриеновая С 20:3ω3	0,01 [19]	0,050 ± 0,003	–
арахидоновая С 20:4ω6	0,13 [19]	0,020 ± 0,001	–
докозагексаеновая С 22:6ω3	0,05 [19]	0,050 ± 0,002	–
Соотношение ω-6:ω-3	1:(3–4) [12, 13, 23–27]	1:3	1:3
Транс-изомеры жирных кислот:			
линолелаидиновая-транс	нет данных	0,22 ± 0,01	0,19 ± 0,01

ВЫВОДЫ

Органолептические показатели исследуемых образцов масла чиа были определены как характерные для продукта данного вида. Количественные характеристики физико-химических показателей не превысили регламентированных норм ТР ТС 024/2011 и Codex Alimentarius. Codex Stan 210-1999. Состав основных жирных кислот соответствовал липидному профилю масла чиа. В пробе 1 в пределах 0,050 % дополнительно выявлено содержание эйкозадиеновой, эйкозатриеновой, докозагексаеновой, 0,020 % – арахидоновой, 0,040 % – эруковой кислот и несколько больший (на 15,8 %) уровень транс-изомеров. Проба 2 имела преимущества в содержании α-токоферола, полифенолов (в 9,3 раза), финансовой составляющей (цена ниже в 3,4 раза), но уступала (на 21,2 %) по величине АОА.

Установлено несоответствие обеих проб нетрадиционного масла требованиям ТР ТС 024/2011 в части полноты потребительской

маркировки, что дает основание для изъятия их из товарооборота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Попова А.В. Семена чиа как источник незаменимых полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) омега-3 / А.В. Попова // Высокие технологии и инновации в науке: сборник избранных статей Международной научной конференции. Санкт-Петербург: Национальный исследовательский университет ИТМО, 2019. С. 42–45.
- Chia Seeds (*Salvia hispanica* L.): an overview-phytochemical profile, isolation methods, and application / M. Knez Hrnčíč [and al.] // Molecules. 2019. 25(1). P. 11. doi 10.3390/molecules25010011.
- Natural antioxidants of chia seeds / R. Castro-Martinez [and al.] // Proceedings of the world conference on emerging technologies in the fats and oils industry. American oil chemist's society, 1986. P. 392–396.
- Katarzyna, M. Chia seeds (*Salvia hispanica*): health promoting properties and therapeutic applications – a review / M. Katarzyna, K. Zbigniew // Roczniki Państw Zakładów Gospodarki Rolniczej. 2017. 68(2). P. 123–129.
- Characterization of phenolic compounds in chia (*Salvia hispanica* L.) seeds, fiber flour and oil / S.C. Oliveira-Alves [and al.] // Food Chemistry. 2017. 232. P. 295–305. doi 10.1016/j.foodchem.2017.04.002.

6. Ayerza, R. Effects of seed color and growing locations on fatty acid content and composition of two chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes / R. Ayerza // Journal of the American oil chemists' society. 2010. 87(10). P. 1161–1165. doi 10.1007/s11746-010-1597-7.
7. Chia seed (*Salvia hispanica* L.) effects and their molecular mechanisms on unbalanced diet experimental studies: a systematic review / B.N. Enes [and al.] // Journal of Food Science. 2020. 85(2). P. 226–239. doi 10.1111/1750-3841.15003.
8. Öztürk, H. Antioxidant, anticholinesterase and antibacterial activities of *jurinea consanguinea* dc / H. Öztürk, U. Kolak, C. Meric // Records of Natural Products. 2011. 5(1). P. 43–51.
9. Characterization and fractionation of phenolic compounds extracted from olive oil mill waste-waters / E. De Marco [and al.] // Food Chemistry. 2007. 104(2). P. 858–867. doi 10.1016/j.foodchem.2006.10.005.
10. Кудинова, О.В. Проблемы идентификации и маркировки пищевых жиров / О.В. Кудинова, Л.В. Молоканова // Зеленый коридор. 2021. № 2 (16). С. 105–110.
11. Сидоров, С.А. Маркировка как инструмент повышения конкурентных преимуществ компаний и защиты интересов потребителей / С.А. Сидоров // Региональный экономический журнал. 2022. № 1 (32). С. 55–63.
12. Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction / V.Y. Ixtaina [and al.] // Journal of Food Composition and Analysis. 2011. 24. P. 166–174. doi 10.1016/j.jfca.2010.08.006.
13. Grancieri, M. Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) as a source of proteins and bioactive peptides with health benefits: a review / M. Grancieri, H.S.D. Martino, E. Gonzalez de Mejia // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. 18(2). P. 480–499. doi 10.1111/1541-4337.12423.
14. Ciftci, O.N. Lipid components of flax, perilla, and chia seeds / O.N. Ciftci, R. Przybylski, M. Rudzińska // European Journal of Lipid Science and Technology. 2012. 114. P. 794–800. doi 10.1002/ejlt.201100207.
15. Панова, А.С. Фитохимическое исследование различных фракций семян *Salvia hispanica* (Lamiaceae) / А.С. Панова, Д.С. Дергачёв, М.А. Суботялов // Растительные ресурсы. 2020. Т. 56. № 4. С. 351–362. doi 10.31857/S0033994620030061.
16. Clinical evidence on dietary supplementation with chia seed (*Salvia hispanica* L.): a systematic review and meta-analysis / S.L. Teoh [and al.] // Nutrition Reviews. 2018. 76(4). P. 219–242. doi 10.1093/nutrit/nux071.
17. Mechanisms Involved in the Improvement of lipotoxicity and impaired lipid metabolism by dietary α -linolenic acid rich *Salvia hispanica* L. (*Salba*) seed in the heart of dyslipemic insulin-resistant rats / A. Creus [and al.] // Journal of Clinical Medicine. 2016. 5(2). P. 18. doi 10.3390/jcm5020018.
18. Physical properties, chemical characterization and fatty acid composition of Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds / P. Porras-Loaiza [and al.] // International Journal of Food Science & Technology. 2014. 49. P. 571–77. doi 10.1111/ijfts.12339.
19. Samuel, J. Chia seed: a magical medicine / J. Samuel, V.Y. Hima // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2018. 7(2). P. 1320–1322.
20. Бутова, С.В. Исследование показателей растительных масел из малораспространенного сырья / С.В. Бутова, М.Н. Шахова, Е.В. Панина // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2018. № 1 (10). С. 38–43.
21. Конь, И.Я. Медико-биологическое обоснование возможности использования муки из семян растения чия в питании детей старше 3-х лет / И.Я. Конь // Отчет о научно-исследовательской работе. Москва, 2013. 22 с.
22. Skład kwasów tłuszczowych olejów zalecanych w profilaktyce chorób cywilizacyjnych / K. Łożna [and al.] // Problemy Higieny i Epidemiologii. 2012. 93(4). P. 871–875.
23. The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. / M.N. Ali [and al.] // Journal of Biomedicine and Biotechnology. 2012. P. 171956. doi 10.1155/2012/171956.
24. Fatty acids characterization, oxidative perspectives and consumer acceptability of oil extracted from pre-treated chia (*Salvia hispanica* L.) seeds / M. Imran [and al.] // Lipids in Health and Disease. 2016. 15(1). P. 162. doi 10.1186/s12944-016-0329-x.
25. Chemical characterization of the lipid fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.) / L.M. Álvarez-Chávez [and al.] // International Journal of Food Properties. 2008. 11. P. 687–97.
26. Ayerza, R. Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.) / R. Ayerza, W. Coates // Industrial Crops and Products. 2011. 34. P. 1366–71.
27. Khattab, R.Y. Quality evaluation of flaxseed oil obtained by different extraction techniques / R.Y. Khattab, M.A. Zeitoun // Journal of Food Science and Technology. 2013. 53. P. 338–45.

Информация об авторах

Н. Л. Наумова – доктор технических наук, профессор кафедры экологии и химической технологии, ведущий научный сотрудник лаборатории перспективных исследований молекулярных механизмов стресса Южно-Уральского государственного университета (НИУ).

Ю. А. Бец – аспирант кафедры экологии и химической технологии Южно-Уральского государственного университета (НИУ).

REFERENCES

1. Popova, A.V. (2019). Chia seeds as a source of essential polyunsaturated fatty acids (PUFAs) omega-3. A collection of selected articles of the International Scientific Conference «High technologies and innovations in science». St. Petersburg: National Research University ITMO. (In Russ.).
2. Knez Hrnčič, M., Ivanovski, M., Cör, D. & Knez, Ž. (2019). Chia Seeds (*Salvia hispanica* L.): an overview-phytochemical profile, isolation methods, and application. *Molecules*, 25(1), 11. (In Poland). (In Switzerland). doi 10.3390/molecules25010011.
3. Castro-Martínez, R., Pratt, D.E. & Miller, E.E. (1986). Natural antioxidants of chia seeds. *Proceedings of the World Conference on Emerging Technologies in the Fats and Oils Industry*. American Oil Chemists' Society Champaign, IL., USA. (In United States).
4. Katarzyna, M. & Zbigniew, K. (2017). Chia seeds (*salvia hispanica*): health promoting properties and therapeutic applications – a review. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 68(2). 123-129. (In Poland).

5. Oliveira-Alves, S.C., Vendramini-Costa, B.D., Bau Betim Cazarin, C., Marostica, M.R., Ferreira, J.P.B., Silva, A.B., Prado, M.A. & Bronze, M.R. (2017). Characterization of phenolic compounds in chia (*Salvia hispanica* L.) seeds, fiber flour and oil. *Food Chemistry*, 232, 295-305. (In Netherlands). doi 10.1016/j.foodchem.2017.04.002.
6. Ayerza, R. (2010). Effects of seed color and growing locations on fatty acid content and composition of two chia (*Salvia hispanica* L.) genotypes. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 87(10), 1161-1165. (In United States). doi 10.1007/s11748-010-1597-7.
7. Enes, B.N., Moreira, L.P.D., Silva, B.P., Grancieri, M., Lúcio, H.G., Venâncio, V.P., Mertens-Talcott, S.U., Rosa, C.O.B. & Martino, H.S.D. (2020). Chia seed (*Salvia hispanica* L.) effects and their molecular mechanisms on unbalanced diet experimental studies: a systematic review. *Journal of Food Science*, 85(2), 226-239. (In United States). doi 10.1111/1750-3841.15003.
8. Öztürk, H., Kolak, U. & Meric, C. (2011). Antioxidant, anticholinesterase and antibacterial activities of *jurinea consanguinea* dc. *Records of Natural Products*, 5(1), 43-51. (In United States).
9. De Marco, E., Savarese, M., Paduano, A. & Sacchi, R. (2007). Characterization and fractionation of phenolic compounds extracted from olive oil mill waste-waters. *Food Chemistry*, 104(2), 858-867. (In Netherlands). doi 10.1016/j.foodchem.2006.10.005.
10. Kudinova, O.V. & Molokanova, L.V. (2021). Problems of identification and labeling of edible fats. *Green corridor*, 2 (16), 105-110. (In Russ.).
11. Sidorov, S.A. (2022). Labeling as a tool to increase the competitive advantages of companies and protect the interests of consumers. *Regional economic journal*, 1 (32), 55-63. (In Russ.).
12. Ixtaina, V.Y., Martínez, M.L., Spotorno, V., Mateo, C.M., Maestri, D.M., Diehl, B.W.K., Nolasco, S.M. & Toma's, M.C. (2011). Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 166-174. (In Ireland). doi: 10.1016/j.jfca.2010.08.006.
13. Grancieri, M., Martino, H.S.D. & Gonzalez de Mejia, E. (2019). Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) as a source of proteins and bioactive peptides with health benefits: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(2), 480-499. (In United States). doi 10.1111/1541-4337.12423.
14. Ciftci, O.N., Przybyski, R. & Rudzińska, M. (2012). Lipid components of flax, perilla, and chia seeds. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114, 794-800. (In Germany). doi 10.1002/ejlt.201100207.
15. Panova, A.S., Dergachev, D.S. & Subotyakov, M.A. (2020). Phytochemical study of various seed fractions of *Salvia hispanica* (Lamiaceae). *Plant resources*, 56, 4, 351-362. (In Russ.). doi 10.31857/S0033994620030061.
16. Teoh, S.L., Lai, N.M., Vanichkulpitak, P., Vuksan, V., Ho, H. & Chaiyakunapruk, N. (2018). Clinical evidence on dietary supplementation with chia seed (*Salvia hispanica* L.): a systematic review and meta-analysis. *Nutrition Reviews*, 76(4), 219-242. (In United States). doi 10.1093/nutrit/nux071.
17. Creus, A., Ferreira, M., Oliva, M. & Lombardo, Y. (2016). Mechanisms Involved in the Improvement of lipotoxicity and impaired lipid metabolism by dietary α -linolenic acid rich *Salvia hispanica* L. (Salba) seed in the heart of dyslipemic insulin-resistant rats. *Journal of Clinical Medicine*, 5(2), 18. (In Switzerland). doi 10.3390/jcm5020018.
18. Porras-Loaiza, P., Jiménez-Munguía, M.T., Sosa-Morales, M.E., Palou, E. & López Malo, A. (2014). Physical properties, chemical characterization and fatty acid composition of Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *International Journal of Food Science & Technology*, 49, 571-77. (In Czech Republic). doi 10.1111/ijfs.12339.
19. Samuel, J. & Hima, V.Y. (2018). Chia seed: a magical medicine. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 1320-1322. (In India).
20. Butova, S.V., Shakhova, M.N. & Panina, E.V. (2018). Study of indicators of vegetable oils from rare raw materials. *Technologies and commodity science of agricultural products*, 1 (10), 38-43. (In Russ.).
21. Kon', I.Ya. (2013). Medical and biological substantiation of the possibility of using flour from the seeds of the chia plant in the nutrition of children over 3 years old. *Research report*. Moscow. (In Russ.).
22. Łoźna, K., Kita, A., Styczyńska, M. & Biernat, Ja. (2012). Skład kwasów tłuszczykowych olejów zalecanych w profilaktyce chorób cywilizacyjnych. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 93(4), 871-875. (In Poland).
23. Ali, M.N., Yeap, S.K., Ho, W.Y., Beh, B.K., Tan, S.W. & Tan, S.G. (2012). The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 171956. (In United States). doi 10.1155/2012/171956.
24. Imran, M., Nadeem, M., Manzoor, M.F., Javed, A., Ali, Z., Akhtar, M.N., Ali, M. & Hussain, Ya. (2016). Fatty acids characterization, oxidative perspectives and consumer acceptability of oil extracted from pre-treated chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Lipids in Health and Disease*, 15(1), 162. (In United Arab Emirates). doi 10.1186/s12944-016-0329-x.
25. Álvarez-Chávez, L.M., Valdivia-López, M.A., Aburto-Juárez, M.L. & Tecante, A. (2008). Chemical characterization of the lipid fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.). *International Journal of Food Properties*, 11, 687-97. (In United States).
26. Ayerza, R. & Coates, W. (2011). Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). *Industrial Crops and Products*, 34, 1366-71. (In Netherlands).
27. Khattab, R.Y. & Zeitoun, M.A. (2013). Quality evaluation of flaxseed oil obtained by different extraction techniques. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 338-45. (In Germany).

Information about the authors

N.L. Naumova - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Ecology and Chemical Technology, Leading Researcher, Laboratory for Advanced Studies of Molecular Mechanisms of Stress, South Ural State University (NRU).

Yu.A. Betz - Post-graduate student of the Department of Ecology and Chemical Technology, South Ural State University (NRU).

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

Статья поступила в редакцию 02.11.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 02 Nov 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.66: 637
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.010

EDN: YYMDUE

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОАКТИВНЫХ ПЕПТИДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И ХРАНИМОСПОСОБНОСТИ ХЛЕБА

Ирина Юрьевна Резниченко¹, Гиоргий Сергеевич Акопян²

¹ Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия
irina.reznichenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

² Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева
Курган, Россия
khleb_direktor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4695-7831>

Аннотация. Разработка и внедрение в практику инновационных технологий, оценка влияния новых биологически активных веществ в форме биопептидов на качество продуктов питания является актуальным направлением исследований. Отдельное направление исследований связано с использованием пептидов в качестве природных консервантов, т.к. порча и загрязнение пищевых продуктов, зачастую связанные с микроорганизмами, особенно бактериями и грибками, приводят к потерям продуктов питания и серьезным заболеваниям пищевого происхождения. Пептиды обладают высокой биологической активностью, характеризуются антимикробными, бактерицидными, противовирусными свойствами в наноконцентрациях, что определило их перспективность использования в технологиях пищевых продуктов. Цель работы заключалась в обосновании применения БАД (ферментативный гидролизат фабрической сумки цыплят бройлеров) в технологии производства хлеба пшеничного для увеличения срока хранения и улучшения качественных характеристик хлеба. Объектами исследования являлись модельные образцы хлеба пшеничного из муки высшего сорта с добавлением БАД. В качестве методов исследования применяли методы анализа, систематизации, обобщения информационных данных поисковых отечественных и международных систем за последние пять лет, стандартные и отраслевые методы контроля сырья и изделий хлебопекарного производства. Установлено, что величина упека хлеба достоверно снижается с увеличением дозировки БАД, влажность мякиша хлеба незначительно увеличивается (на 4 %), что подтверждает данные о гидрофильтности вносимых пептидов, кислотность хлеба увеличивается с увеличением дозировки гидролизата. Пористость мякиша и удельный объем хлеба с увеличением дозировки гидролизата увеличились на 7 % и 31 % соответственно. Оценка показателей безопасности выявила, что хлеб с 50 % заменой раствора соли на БАД в течение 120 часов сохранял свои первоначальные свойства, хлеб с полной заменой – 168 часов, контроль – 72 часа. Установлен рекомендуемый срок хранения хлеба с полной заменой солевого раствора БАД 144 часа (6 суток). Исключение соли из рецептуры при внесении 100 % БАД позволяет отнести разработанный хлеб к ахлоридному, т.е. хлебу специализированного назначения. Из результатов исследований следует, что ферментативные гидролизаты белка фабрической сумки, содержащие антимикробные пептиды, являются многообещающими альтернативами для использования в качестве натуральных консервантов, но также необходимы новые исследования для подтверждения полученных данных и оценки других показателей качества и отсутствия аллергенности хлеба.

Ключевые слова: гидролизат пептида, хлеб пшеничный, влияние пептида на качественные характеристики, микробиологические показатели, стойкость к заражению, сроки хранения.

Для цитирования: Резниченко И. Ю., Акопян Г. С. Использование биоактивных пептидов для обеспечения качества и хранимоспособности хлеба // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 75–83. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.010. EDN: <https://elibrary.ru/YYMDUE>.

Original article

USE OF BIOACTIVE PEPTIDES FORENSURE THE QUALITY AND STORAGE OF BREAD

Irina Yu. Reznichenko ¹, Giorgi S. Akopyan ²

¹ Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, Russia
irina.reznichenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

² Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltseva, Kurgan, Russia

Abstract. The development and implementation of innovative technologies in practice, the assessment of the impact of new biologically active substances in the form of biopeptides on the quality of food is an important area of research. A separate area of research is associated with the use of peptides as natural preservatives, since food spoilage and contamination, often associated with microorganisms, especially bacteria and fungi, lead to food wastage and serious foodborne illness. Peptides have high biological activity, are characterized by antimicrobial, bactericidal, antiviral properties in nanoconcentrations, which determined their promising use in food technology. The aim of the work was to substantiate the use of dietary supplements (enzymatic hydrolyzate of broiler chicken bursa fabricium) in wheat bread production technology to increase the shelf life and improve the quality characteristics of bread. The objects of the study were model samples of wheat bread from premium flour with the addition of dietary supplements. As research methods, methods of analysis, systematization, generalization of information data from search domestic and international systems over the past five years, standard and industry methods for monitoring raw materials and bakery products were used. It has been established that the value of bread baking significantly decreases with an increase in the dosage of dietary supplements, the moisture content of the bread crumb increases slightly (by 4%), which confirms the data on the hydrophilicity of the introduced peptides, the acidity of bread increases with an increase in the dosage of the hydrolyzate. The porosity of the crumb and the specific volume of bread with an increase in the dosage of the hydrolyzate increased by 7% and 31%, respectively. An assessment of safety indicators revealed that bread with a 50% replacement of salt solution with dietary supplements retained its original properties for 120 hours, bread with a complete replacement - 168 hours, control - 72 hours. The recommended shelf life of bread with a complete replacement of the salt solution of dietary supplements is 144 hours (6 days). The exclusion of salt from the recipe when adding 100% dietary supplements makes it possible to attribute the developed bread to achloride bread, i.e. specialized bread. The results of the research suggest that enzymatic bursal protein hydrolysates containing antimicrobial peptides are promising alternatives for use as natural preservatives, but more research is also needed to confirm the findings and evaluate other indicators of bread quality and non-allergenicity.

Keywords: peptide hydrolyzate, wheat bread, peptide influence on quality characteristics, microbiological parameters, infection resistance, shelf life.

For citation: Reznichenko, I.Yu. & Akopyan, G.S. (2023). Use of bioactive peptides forensure the quality and storage of bread. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 75-83. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.010. EDN: <https://elibrary.ru/YYMDUE>.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и внедрение в практику инновационных технологий, оценка влияния новых биологически активных веществ в форме биопептидов на качество продуктов питания является актуальным направлением исследований. В настоящее время большое внимание уделяется поиску и использованию биоресурсов для выработки биологически активных пептидов, характеризующихся разнообразными свойствами и спектром применения.

Порча и загрязнение пищевых продуктов часто связаны с микроорганизмами, особенно бактериями и грибками, что вызывает глобаль-

ную озабоченность, поскольку они приводят к потерям продуктов питания и серьезным заболеваниям пищевого происхождения, в связи с чем отдельное направление исследований связано с использованием пептидов в качестве природных консервантов. Выделение и идентификация пептидов также важна для продления сроков хранения изделий скоропортящихся, в том числе хлеба, а также сохранение ферментативной способности дрожжей при производстве замороженных мучных изделий.

Исследована антимикробная и противогрибковая активность белковых пептидов, выделенных из семян бобовых (Mani-López E. и др., 2021). Установлен противогрибковый

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОАКТИВНЫХ ПЕПТИДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И ХРАНИМОСПОСОБНОСТИ ХЛЕБА

механизм действия катионных пептидов иммунной системы (дефензинов) в отношении пищевых продуктов, в том числе хлеба [1]. Обозначены направления дальнейших исследований бобовых пептидов, т.к. бобовые продуктируют защитные соединения (от грибов и насекомых-вредителей), которые можно экстрагировать для применения в качестве антимикробных средств.

Рассмотрены свойства белков и пептидов татарской гречихи (ZhuF., 2021). Пептиды показали различную биологическую активность *in vitro* и *in vivo*. Они ингибируют трипсин, замедляют старение, модулируют микробиоту кишечника, проявляют иммуномодулирующие, антидиабетические, противомикробные, противораковые и антиоксидантные свойства, профилактику сердечно-сосудистых заболеваний, снижение артериального давления. Показано, что протеины и пептиды гречихи имеют потенциал для применения в продуктах функционального назначения [2].

Установлено, что пептиды косточкового жмыха пальмы, полученные посредством лактоферментации, обладают противогрибковой активностью в отношении *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Fusarium sp.*, *Penicillium spp.*. Показано, что применение пептидов в качестве биоконсервантов продляют сроки хранения хлеба до 10 суток. (Asri, N. M. и др., 2020). Противогрибковую активность в отношении *Penicillium spp.* проявляют пептиды гидролизованной сыворотки козьего молока. Кроме того, использованные в качестве ингредиента для приготовления хлеба, они влияют на снижение роста микотоксинов и увеличивают срок хранения хлеба на 48 часов (Luz C. и др., 2020) [3, 4].

Снижение активности дрожжей и ухудшение качества хлеба – две основные проблемы в технологии замороженного теста. Изучено влияние пептидов серцицина (белка, входящего в состав шелковой железы тутового шелкопряда) на замороженное тесто, показано, что пептиды уменьшают содержание замерзающей воды и повышают коэффициент выживаемости дрожжей после 4-недельного хранения в замороженном виде (Gong, S. и др., 2019) [5].

Исследовано криопротекторное действие соевых пептидов на ферментативную способность хлебопекарных дрожжей (Liu M. и др., 2020). Продемонстрирована возможность использования соевых пептидов для поддержания способности дрожжей к брожению и сохранению качества хлеба, произведенного из замороженного теста [6].

Разработаны натуральные антибактери-

альные и противогрибковые пептиды из порошка семян кенафа (травянистого растения рода гибискус семейства мальвовых) и определена их эффективность при продлении срока годности различных видов хлеба. Определена минимальная ингибирующая и бактерицидная концентрации в отношении грамположительных бактерий. Применение порошка в дозе 3000 мг/кг снижало численность *Aspergillus niger*, *Aspergillus flayusu*, *Fusarium sp.* в образцах хлеба, инокулированных грибами, при хранении при 25 °C. Пептиды в дозах 1000 и 3000 мг/кг успешно продлили срок годности хлеба на 10 дней. Показано, что добавление пептидов не вызывало изменений физико-химических свойств продукта (Arulrajah B. и др., 2022) [7].

Исследованы характеристики антимикробных пептидов, выделенных из белков глютена пшеницы, с использованием латексных пептидаз *Calotropis procera*, *Cryptostegia grandiflora* и *Carica papaya* (Freitas D. C. и др., 2022). Установлено ингибирование роста грибов в хлебе с пептидами и их активность против *Penicillium sp.* [8].

Рассмотрены побочные продукты животного происхождения – коллаген и производные пептиды как важные компоненты инновационных устойчивых пищевых систем (Yuan H. и др., 2022) [9]. Предложена технология получения и исследовано влияние пептидов ферментативного гидролизата фабрициевой сумки цыплят бройлеров на иммунитет лабораторных мышей (Тихонов С. Л. и др., 2022, Кольберг Н. А. и др., 2022). Показано, что разработанный биоактивный пептид с выраженным иммунотропным действием является перспективным источником для применения в пищевых системах [10–12].

Исследовано влияние БАД с пантами марала и пятнистого оленя на характеристики булочных изделий, установлено улучшение состояния мякиша и замедление процесса черствения (Кузьмина С. С. и др., 2016) [13].

Другим не менее важным направлением научных исследований является создание продуктов с низким содержанием соли, так как высокие уровни пищевой соли приводят к повышению артериального давления и риску развития сердечно-сосудистых заболеваний (He F.J и др., 2020) [14]. Пищевые продукты с наибольшим содержанием соли в рационе включают хлеб и хлебобулочные изделия [15].

Цель работы заключалась в обосновании применения БАД (ферментативный гидролизат фабрициевой сумки цыплят бройлеров) в технологии производства хлеба пшенич-

ного для увеличения срока хранения и улучшения качественных характеристик хлеба.

МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования в работе использованы мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта (изготовитель ООО «Привоз», Россия, г. Новосибирск, выработанная по ГОСТ 25574-2017); дрожжи хлебопекарные прессованные (изготовитель ООО «САФ-НЕВА», Россия, г. Воронеж, выработанные по ТУ 10.89.13-038-48975583-2018); модельные образцы хлеба, приготовленные на активированных дрожжах с применением БАД – ферментативный гидролизат фабрициевой сумки цыплят-бройлеров, выработанной по ТУ 20.59.59-001-32698901-2019 (БАД). Образцы хлеба готовили в лабораторных условиях по ГОСТ 27669-88. В качестве контрольного образца служил образец хлеба, приготовленный без внесения ферментативного гидролизата.

В работе применяли стандартные и отраслевые методы контроля сырья и полуфабрикатов хлебопекарного производства. Определение влажности муки пшеничной хлебопекарной проводили по ГОСТ 9404-88 методом высушивания в сушильном шкафу (марка SNOL 20/30, производитель АВ UMEGA, Литва), цвет, запах, вкус и хруст определили по ГОСТ 27558-87, количество и качество клейковины – по ГОСТ 27839-2013. Для определения качества клейковины применяли прибор ИДК-ЗМ, производитель АО «Промприбор», Россия. Дрожжи хлебопекарные прессованные анализировали по ГОСТ Р 54731-2011, массовую долю влаги дрожжей определяли ускоренным методом, для этого использовали прибор Чижовой (марка ПЧМЦ, производитель ООО «ОЛИС», Россия), подъемную силу дрожжей с имеющимися сроками хранения со дня выработки определяли ускоренным способом, использовали термостат марки ST1, Россия. Пробную лабораторную выпечку осуществляли по ГОСТ 27669-88. Замес теста из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта с добавлением и без добавления БАД осуществляли на тестомесилке лабораторной У1-ЕТК-1М (Россия). Формование тестовых заготовок осуществляли ручным способом. Образцы хлеба выпекали в печи лабораторной марки РЗ-ХЛП, Россия при температуре 200–220 °С, продолжительность выпечки составляла 25–30 минут.

Для биологической стимуляции метаболизма дрожжей применяли БАД гидролизат из фабрициевой сумки цыплят бройлеров (БАД), которая представляет собой жидкую питательную смесь [16]. БАД вносили при замесе теста.

В качестве контрольного образца служил образец хлеба без внесения БАД.

В модельных образцах хлеба анализировали органолептические показатели качества по ГОСТ Р 58233-2018, пористость – по ГОСТ 5669-96, влажность – по ГОСТ 210940-75, упек (уменьшение массы тестовой заготовки при выпечке) весовым методом, величину упека выражали в процентах к массе тестовой заготовки перед выпечкой, удельный объем определяли методом, основанным на измерении объема индикатора, вытесненного погруженным в него готовым изделием. В качестве индикатора использовали шлифованное пшено с размерами частиц порядка 1,5 мм.

Показатели безопасности хлеба определяли согласно требований ТР ТС 021/2011 в испытательной аккредитованной лаборатории Центра гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области.

Экспериментальные данные обрабатывали статистическими методами анализа. Определение физико-химических показателей качества муки, дрожжей и модельных образцов хлеба проводили в 3-кратной повторности.

В качестве объектов исследования в работе использованы: мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта (изготовитель ООО «Привоз», Россия, г. Новосибирск, выработанная по ГОСТ 25574-2017); дрожжи хлебопекарные прессованные (изготовитель ООО «САФ-НЕВА», Россия, г. Воронеж, выработанные по ТУ 10.89.13-038-48975583-2018); модельные образцы хлеба, приготовленные на активированных дрожжах с применением БАД – ферментативный гидролизат фабрициевой сумки цыплят-бройлеров, выработанной по ТУ 20.59.59-001-32698901-2019 (БАД). Образцы хлеба готовили в лабораторных условиях по ГОСТ 27669-88. В качестве контрольного образца служил образец хлеба, приготовленный без внесения ферментативного гидролизата.

В работе применяли стандартные и отраслевые методы контроля сырья и полуфабрикатов хлебопекарного производства. Определение влажности муки пшеничной хлебопекарной проводили по ГОСТ 9404-88 методом высушивания в сушильном шкафу (марка SNOL 20/30, производитель АВ UMEGA, Литва), цвет, запах, вкус и хруст определяли по ГОСТ 27558-87, количество и качество клейковины – по ГОСТ 27839-2013. Для определения качества клейковины применяли прибор ИДК-ЗМ, производитель АО «Промприбор», Россия. Дрожжи хлебопекарные прессованные анализировали по ГОСТ Р 54731-2011, массовую долю влаги дрожжей определяли ускоренным

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОАКТИВНЫХ ПЕПТИДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И ХРАНИМОСПОСОБНОСТИ ХЛЕБА

методом, для этого использовали прибор Чижовой (марка ПЧМЦ, производитель ООО «ОЛИС», Россия), подъемную силу дрожжей с имеющимися сроками хранения со дня выработки определяли ускоренным способом, использовали термостат марки ST1, Россия. Пробную лабораторную выпечку осуществляли по ГОСТ 27669-88. Замес теста из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта с добавлением и без добавления БАД осуществляли на тестомесилке лабораторной У1-ЕТК-1М (Россия). Формование тестовых заготовок осуществляли ручным способом. Образцы хлеба выпекали в печи лабораторной марки РЗ-ХЛП, Россия при температуре 200–220 °C, продолжительность выпечки составляла 25–30 минут.

Для биологической стимуляции метаболизма дрожжей применяли БАД гидролизат из фабрициевой сумки цыплят бройлеров (БАД), которая представляет собой жидкую питательную смесь [6]. БАД вносили при замесе теста. В качестве контрольного образца служил образец хлеба без внесения БАД.

В модельных образцах хлеба анализировали органолептические показатели качества по ГОСТ Р 58233-2018, пористость – по ГОСТ 5669-96, влажность – по ГОСТ 210940-75, упек (уменьшение массы тестовой заготовки при выпечке) – весовым методом, величину упека выражали в процентах к массе тестовой заготовки перед выпечкой, удельный объем определяли методом, основанным на измерении объема индикатора, вытесненного погруженным в него готовым изделием. В качестве индикатора использовали шлифованное пшено с размерами частиц порядка 1,5 мм.

Показатели безопасности хлеба определяли согласно требований ТР ТС 021/2011 в испытательной аккредитованной лаборатории Центра гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области.

Экспериментальные данные обрабатывали статистическими методами анализа. Определение физико-химических показателей качества муки, дрожжей и модельных образцов хлеба проводили в 3-кратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показателей качества применяемой в рецептуре муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта показали, что количество клейковины составило (31,5 \pm 0,3) %, качество клейковины, ед. ИДК – (51,0 \pm 0,5), влажность – (12,4 \pm 0,3) %, органолептические показатели муки также соответствовали требованиям ГОСТ 25574-2017.

Оценка органолептических показателей качества используемых дрожжей выявила их соответствие требованиям ГОСТ Р 54731-2017.

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 1 2023

2011. Массовая доля сухого вещества в дрожжах составила (31,6 \pm 0,3) %, подъемная сила – (57,5 \pm 0,5) мин., что также соответствовало регламентируемым нормам.

По показателям качества используемое сырье отвечает регламентируемым требованиям стандартов и может быть использовано для исследований.

Проведенные авторами исследования влияния БАД на биологическую стимуляцию дрожжей хлебопекарных прессованных и сушечных показали, что БАД оказывает положительное воздействие на физиологическую активность дрожжей благодаря пептидам [16, 17]. При этом, учитывая свойства БАД, имеющей солоноватый вкус, производили замену раствора соли в рецептуре теста на БАД. Полученные результаты показали, что по сравнению с контролем подъемная сила дрожжей прессованных хлебопекарных с полной заменой раствора соли на гидролизат увеличилась на 23 % [16].

Использование БАД при замене раствора соли на 100 % позволяет ускорить производственный технологический процесс, но необходимо проведение исследований по влиянию БАД на показатели качества готового хлеба и его хранимоспособность.

Готовили три модельных образца хлеба с учетом влажности используемой муки и дрожжей с различным количественным соотношением соли, БАД и воды. При этом раствор соли заменяли БАД на 50 и 100 %. Составы контрольного (№ 1) и опытных образцов (№ 2, № 3) хлеба приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы образцов

Table 1 - Sample compositions

Наименование сырья	Количество, г		
	№ 1	№ 2	№ 3
Мука пшеничная	105,6	105,6	105,6
Дрожжи	3,0	3,0	3,0
Соль поваренная пищевая	1,5	0,75	0
БАД, мл	0	30	60
Вода питьевая, мл	64,1	34,1	4,1
Итого:	173,45	173,45	173,45

Анализ выхода и величины упека образцов хлеба показал, что выход хлеба практически не изменяется и составляет около 116–117 %, при этом величина упека при увеличении дозы БАД достоверно снижается на 11,5 % (образец № 2) ($P \leq 0,05$) и 23 % (образец № 3) ($P \leq 0,05$).

Результаты оценки физико-химических показателей качества образцов приведены в таблице 2. Установлено, что влажность мякиша незначительно увеличилась при увеличении количества БАД (на 1 и 4 % соответственно у образца № 2 и № 3), что подтверждает данные

о гидрофильности вносимых пептидов. Динамика кислотности в зависимости от дозировки БАД показала, что увеличение количества гидролизата способствует более высокой кислотности (на 11 и 16 % соответственно у образцов № 2 и № 3), что говорит об увеличении в хлебе доли органических кислот. Полученные данные согласуются с данными о том, что вносимые пептиды относят к кислым, т.к. их изоэлектрическая точка ниже 7,0 [11, 12].

Анализ таких показателей, как пористость и удельный объем, выявил, что с увеличением дозировки гидролизата пористость мякиша увеличилась на 2,3 % (образец № 2) и на 7 % (образец № 3), удельный объем

также увеличился на 15 и 31 % соответственно (таблица 2).

Сравнительная оценка органолептических показателей качества готовых образцов хлеба показала, что все изделия имели правильную форму с выпуклой верхней коркой, отсутствием боковых выплывов и трещин на поверхности (рисунок 1). Отмечено, что цвет корки образцов хлеба с внесением БАД не изменялся и соответствовал контрольному образцу – золотисто-желтому.

На разрезе образцы хлеба с внесением БАД имели эластичный мякиш, равномерную тонкостенную пористость, пустоты и уплотнения в мякише отсутствовали (рисунок 1, справа). Вкус и запах – без постороннего, свойственный хлебу.

Таблица 2 – Физико-химические показатели качества образцов хлеба

Table 2 - Physico-chemical indicators of the quality of bread samples

Наименование показателя	Характеристика образцов			
	по ГОСТ	№ 1	№ 2	№ 3
Влажность мякиша, %, не более	45,0	36,8±0,3	37,18±0,3	38,52±0,3
Кислотность мякиша, град, не более	3,0	1,8±0,1	2,0±0,1	2,1±0,1*
Пористость мякиша, %, не менее	65,0	73,21±0,3	74,90±0,3	78,31±0,3*
Удельный объем, см ³	–	380,0±0,3	440,0±0,3*	500,0±0,3*

Примечание: * P ≤ 0,05



Рисунок 1 – Внешний вид образцов хлеба и вид на разрезе образцов хлеба с БАД

Figure 1 - Appearance of bread samples and section view of bread samples with biologically active additive

Исследование показателей безопасности образцов хлеба проводили в течение 240 часов (10 суток). Хлеб хранили упакованым в полиэтиленовую пищевую пленку по ГОСТ 10354 при температуре 8–10 °C, изолированным от источников нагрева и охлаждения. Для упакованного хлеба из муки высшего сорта массой менее 0,2 кг согласно ГОСТ 31752-2012 рекомендуемые сроки хранения составляют 48 часов.

Выявлено, что в течение 144 часов количество плесеней во всех образцах составляло не

более 10 КОЕ/г. В контрольном образце при хранении в течение 120 часов КМАФАнМ увеличилось до $(9,6 \pm 1,3) \times 10^3$ и не соответствовало нормам. В образцах хлеба с БАД данный показатель оставался на допустимом уровне.

В таблице 3 приведены данные результатов анализа содержания КМАФАнМ в образцах хлеба при хранении. В таблице 4 результаты тестирования мякиша образцов хлеба, зараженного тест-штаммами плесеней и споровых бактерий при хранении.

Таблица 3 – Показатели безопасности образцов хлеба при хранении

Table 3 - Safety indicators of bread samples during storage

Образец хлеба	Количество мезофильных аэробных и факультативноанаэробных микроорганизмов, КОЕ/г (см ³)			
	По ТР ТС 021/2011	48 ч	96 ч	144 ч
№ 1	$(4,3 \pm 1,3) \times 10^2$	$(4,3 \pm 1,3) \times 10^2$	$(6,2 \pm 1,3) \times 10^2$	$(10,3 \pm 1,3) \times 10^3$
		$(4,2 \pm 1,3) \times 10^2$	$(5,1 \pm 1,3) \times 10^2$	$(8,3 \pm 1,3) \times 10^2$
		$(4,3 \pm 1,3) \times 10^2$	$(4,9 \pm 1,3) \times 10^2$	$(6,7 \pm 1,3) \times 10^2$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОАКТИВНЫХ ПЕПТИДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И ХРАНИМОСПОСОБНОСТИ ХЛЕБА

Таблица 4 – Результаты тестирования мякиша хлеба, зараженного тест-штаммами плесеней
Table 4 - Test results for breadcrumbs infected with mold test strains

Образец хлеба	<i>Aspergillusniger</i>			<i>Penicillium</i> sp		
	4 ч	72 ч	120 ч	4 ч	72 ч	120 ч
№ 1	Площадь заражения, см ²	11,5 ± 2,2 9,9 ± 2,1* 6,8 ± 1,5*	18,1 ± 2,2 14,2 ± 2,1 10,7 ± 1,5*	39,1 ± 2,2 22,5 ± 2,1* 19,3 ± 1,5*	7,6 ± 1,2 5,7 ± 0,9 3,2 ± 0,5*	21,2 ± 1,2 12,3 ± 0,9* 7,5 ± 0,6*
№ 2						14,8 ± 0,7*
№ 3						8,7 ± 0,6*

Примечание: * P ≤ 0,05

Оценка показателей безопасности выявила, что хлеб с 50 % заменой раствора соли на БАД в течение 120 часов сохранял свои первоначальные свойства, хлеб с полной заменой – 168 часов, контроль – 72 часа.

Рекомендуемый срок хранения хлеба с полной заменой солевого раствора БАД составляет 144 часа (6 суток).

Результаты исследований согласуются с данными, в которых установлено, что белковые гидролизаты используются в качестве противогрибковых средств (Luz, C. и др., 2020) [18]. Исследования (Nionelli, L. и др., 2020) показали, что гидролизат хлеба, образующийся в результате протеолитического действия металлопептидаз и сериновых пептидаз из *Lactobacillusbrevis* AM7, обладает широким ингибирующим спектром против разных видов грибов и противогрибковой активностью в диапазоне от 20 до 70 % [19].

Противогрибковая активность гидролизата фабрициевой сумки была того же порядка величины, что и у авторов (Feng G. и др., 2020), которые исследовали противогрибковые эффекты пептида танатина против *Penicilliumdigitatum* и наблюдали ингибирование примерно на 53 % [20]. Авторы (Muhialdin B.J. и др., 2016) [21] выделили пептид из бесклеточного супернатанта *Lactobacillusplantarum* и показали, что он способен ингибировать рост *Penicilliumtroqueforti* на 60 %, что аналогично показателям, полученным в нашем исследовании.

Авторы (Souza P. F. и др., 2020) с помощью флуоресцентной микроскопии установили, что антимикробные пептиды и гидролизаты индуцируют сильную красную флуоресценцию в спорах. Пропионат натрия и контроль вызывали соответственно слабую и отсутствие красной флуоресценции в спорах. Можно предположить, что пептиды вызывают повреждение мембраны бактерий и грибов [22] и обладают всеми необходимыми свойствами для взаимодействия с мембранами, такими как гидрофильность и положительный заряд, вызывая ионное взаимодействие с отрицательным зарядом микробных мембран, что позволяет внедряться в мембранны.

Сообщалось, что пептиды с такими же

характеристиками и механизмом действия индуцируют сильную красную флуоресценцию в спорах *Penicilliumdigitatum* [23]. В некоторых исследованиях сообщалось о более длительном сроке хранения хлеба, обработанного различными белковыми гидролизатами. Однако они использовали высокие концентрации гидролизатов. Установлено продление срока годности хлеба на 7 дней при внесении 1,5 г/кг смешанной муки из чечевицы (*Lensculinaris*), гороха (*Pisumsativum*) и бобовых (*Viciafaba*), гидролизованных коммерческой нейтральной пептидазой (*VeronPS*) из *Aspergillusoryzae* [24].

ВЫВОДЫ

Хлеб является одним из самых потребляемых продуктов питания во всем мире. Хотя разработаны некоторые технологии для улучшения его характеристик, хлеб, по-прежнему, очень быстро портится, в основном из-за грибкового загрязнения, что приводит к недовольству потребителей и экономическим потерям для хлебопекарной промышленности. Кроме того, загрязнение хлеба грибами приводит к нежелательным изменениям вкуса и выработке вредных веществ, таких как микотоксины.

Из результатов исследований следует, что ферментативные гидролизаты белка фабрициевой сумки, содержащие антимикробные пептиды, являются многообещающими альтернативами для использования в качестве натуральных консервантов для замедления роста грибков в хлебе при хранении, но также необходимы новые исследования для подтверждения полученных данных и оценки других показателей качества и отсутствия аллергенности хлеба.

Потенциально эффективной стратегией сокращения потребления соли населением является сокращение содержания соли в хлебе. Исключение соли из рецептуры при внесении 100 % БАД позволяет отнести разработанный хлеб к ахлоридному, то есть продукции специализированного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mani-López E., Palou E., López-Malo A. Legume proteins, peptides, water extracts, and crude protein ex-

- tracts as antifungals for food applications // Trends in Food Science & Technology. 2021. Т. 112. Р. 16–24.
2. Zhu F. Buckwheat proteins and peptides: Biological functions and food applications // Trends in Food Science & Technology. 2021. Т. 110. Р. 155–167. DOI 10.1016/j.tifs.2021.01.081.
3. Asri N.M., Muhialdin B.J., Zarei M., Saari N. Low molecular weight peptides generated from palm kernel cake via solid state lacto-fermentation extend the shelf life of bread // Lwt. 2020. Т. 134. Р. 110206.
4. Luz C., Izzo L., Ritieni A., Manes J., Meca G. Antifungal and antimycotoxic activity of hydrolyzed goat whey on *Penicillium*spp: An application as biopreservation agent in pita bread // Lwt. 2020. Т. 118. Р. 108717.
5. Gong S., Yang D., Wu Q., Wang S., Fang Z., Li Y., Wu J. Evaluation of the antifreeze effects and its related mechanism of sericin peptides on the frozen dough of steamed potato bread // Journal of Food Processing and Preservation. 2019. Т. 43. № 8. Р. 14053. DOI 10.1111/jfpp.14053.
6. Liu M., Liu X., Li Y. Soybean peptides' cryoprotective effects on *Saccharomyces cerevisiae* fermenting power in frozen dough and maintenance of the Chinese steamed bread qualities // Journal of Food Processing and Preservation. 2020. Т. 44. № 8. Р. e14572. DOI10.1111/jfpp.14572.
7. Arulrajah B., Qoms M.S., Muhialdin B.J., Hasan, H. Zarei M., Hussin A.S., Saari N. Antibacterial and antifungal activity of kenaf seed peptides and their effect on microbiological safety and physicochemical properties of some food models // Food Control. 2022. Т. 140. Р. 109119. DOI10.1016/j.foodcont.2022.109119.
8. Freitas D.C., Zambelli R.A., Ramos M.V., Oliveira J.P., Souza P.F., Santos G.B. Latex peptidases produce peptides capable of delaying fungal growth in bread // Food Chemistry. 2022. Т. 373. Р. 131410. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.131410.
9. Yuan H., Luo Z., Ban Z., Reiter R.J., Ma Q., Liang Z., Li L. Bioactive peptides of plant origin: distribution, functionality and evidence of benefits in food and health // Food & Function. 2022. Т. 13. Р. 3133–3158.
10. Тихонов С.Л., Тихонова Н.В., Колбберг Н.А., Курдяшов Л.С. Систематизация научных знаний о технологии получения и механизме действия некоторых биологически активных пептидов // АПК России. 2022. Т. 29. № 2. С. 254–261.
11. Колбберг Н.А., Тихонова, Н.В., Тихонов, С.Л., Леонтьева, С.А. Разработка технологии выделения и исследования иммунотропного действия бурсальных пептидов на мышах с экспериментальным иммунодефицитом // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 296–309.
12. Kolberg N.A., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V., Kudryashov L.S. Influence of peptides from the bursa of fabricius in broiler chickens on the functional activity of subpopulations of lymphocytes in immunosuppressed mice // Theory and Practice of Meat Processing. 2022. Т. 7. № 2. С. 83–90.
13. Кузьмина С.С., Козубаева Л.А., Егорова Е.Ю. Влияние БАД "Панторин" на потребительские свойства булочных изделий // Ползуновский вестник. 2016. № 2. С. 8–12.
14. He F.J., Tan M., Ma Y., MacGregor G.A. Salt Reduction to Prevent Hypertension and Cardiovascular Disease // J. Am. Coll. Cardiol. 2020. Т. 75. Р. 632–647.
15. Webster J.L., Dunford E.K., Neal B.C. A Systematic Survey of the Sodium Contents of Processed // Foods. Am. J. Clin. Nutr. 2010. Т. 92. Р. 1003.
16. Резниченко И.Ю., Акопян Г.С., Резниченко А.А., Резниченко Е.А. Биологическая активация дрожжей и оценка их влияния на процесс хлебопечения // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2022. № 6 (77). С. 83–88.
17. Резниченко И.Ю., Акопян Г.С., Тихонов С.Л., Тихонова Н.В. Биологическая активация хлебопекарных дрожжей и возможность обогащения продукции хлебопечения пептидами // Health, Food & Biotechnology. 2022. Т. 4. № 3. С. 49–58.
18. Luz C., Izzo L., Ritieni A., Manes, J. & Meca, G. (2020). Antifungal and antimycotoxic activity of hydrolyzed goat whey on *Penicillium*spp: An application as biopreservation agent in pita bread // Lwt, 2020. Т. 118. Р. 108717. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108717>.
19. Nionelli L., Wang Y., Pontonio E., Immonen M., Rizzello C.G., Maina, H.N., Coda, R. (2020). Antifungal effect of bioprocessed surplus bread as ingredient for bread-making: Identification of active compounds and impact on shelf life // Food Control. 2020. Т. 118. Р. 107437. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107437>.
20. Feng G., Li X., Wang W., Deng L. & Zeng K. (2020). Effects of peptide thanatin on the growth and transcriptome of *Penicillium digitatum*. Frontiers in Microbiology, 11, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.606482>.
21. Muhialdin B.J., Hassan Z., Bakar F.A. & Saari, N. (2016). Identification of antifungal peptides produced by *Lactobacillus plantarum* IS10 grown in the MRS broth. Food Control, 59, 27–30. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.05.022>.
22. Souza P.F.N., Marques L.S.M., Oliveira J.T.A., Lima P.G., Dias L.P., Neto N.A.S., ... Freitas, C.D.T. (2020). Synthetic antimicrobial peptides: From choice of the best sequences to action mechanisms. Biochimie, 175, 132–145. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2020.05.016>.
23. Lima P.G., Freitas C.D.T., Oliveira J.T.A., Neto N.A.S., Amaral J.L., Silva A.F.B., ... Souza P.F.N. (2021). Synthetic antimicrobial peptides control *Penicillium digitatum* infection in orange fruits. Food Research International, 147, 110582. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110582>.
24. Rizzello C.G., Verni M., Bordignon S., Gramaglia V. & Gobbiotti M. (2017). Hydrolysate from a mixture of legume flours with antifungal activity as an ingredient for prolonging the shelf life of wheat bread. Food Microbiology, 64, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.12.003>.

Информация об авторах

И. Ю. Резниченко – доктор технических наук, профессор кафедры «Биотехнологии и производство продуктов питания» ФГБОУ ВО «Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия».

Г. С. Акопян – доцент кафедры технологии хранения и переработки продуктов животноводства ФГБОУ ВО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева».

REFERENCES

1. Mani-López, E., Palou, E. & López-Malo, A (2021). Legume proteins, peptides, water extracts, and crude protein extracts as antifungals for food applications. *Trends in Food Science & Technology*. 112, 16–24.
2. Zhu, F. (2021). Buckwheat proteins and peptides: Biological functions and food applications. *Trends in Food Science & Technology*. 110. 155–167. DOI 10.1016/j.tifs.2021.01.0813.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОАКТИВНЫХ ПЕПТИДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И ХРАНИМОСПОСОБНОСТИ ХЛЕБА

3. Asri, N.M., Muhialdin, B.J., Zarei, M. & Saari, N (2020). Low molecular weight peptides generated from palm kernel cake via solid state lacto-fermentation extend the shelf life of bread. *Lwt*.134, 110206.
4. Luz, C., Izzo, L., Ritieni, A., Manes, J. & Meca, G. (2020). Antifungal and antimycotoxic activity of hydrolyzed goat whey on *Penicillium*spp: An application as bio-preservation agent in pita bread. *Lwt*.118, 108717.
5. Gong, S., Yang, D., Wu, Q., Wang, S., Fang, Z., Li, Y. & Wu, J. (2019). Evaluation of the antifreeze effects and its related mechanism of sericin peptides on the frozen dough of steamed potato bread. *Journal of Food Processing and Preservation*. 43 (8), 14053. DOI 10.1111/jfpp.14053.
6. Liu, M., Liu, X. & Li, Y. (2020). Soybean peptides' cryoprotective effects on *Saccharomyces cerevisiae* fermenting power in frozen dough and maintenance of the Chinese steamed bread qualities. *Journal of Food Processing and Preservation*. 44 (8), e14572. DOI10.1111/jfpp.14572.
7. Arulrajah, B., Qoms, M.S., Muhialdin, B.J., Hasan, H., Zarei, M., Hussin, A.S. & Saari, N. (2022). Antibacterial and antifungal activity of kenaf seed peptides and their effect on microbiological safety and physicochemical properties of some food models. *Food Control*. 140, 109119. DOI10.1016/j.foodcont.2022.109119.
8. Freitas, D.C., Zambelli, R.A., Ramos, M.V., Oliveira, J.P., Souza, P.F. & Santos, G.B. (2022). Latex peptidases produce peptides capable of delaying fungal growth in bread. *Food Chemistry*. 373. 131410. DOI 10.1016/j.foodchem. 2021.131410.
9. Yuan, H., Luo, Z., Ban, Z., Reiter, R.J., Ma, Q., Liang, Z. & Li, L. (2022). Bioactive peptides of plant origin: distribution, functionality, and evidence of benefits in food and health. *Food & Function*. 13, 3133-3158.
10. Tikhonov, S.L., Tikhonova, N.V., Kolberg, N.A. & Kudryashov, L.S. (2022). Systematization of scientific knowledge about the technology of obtaining and the mechanism of action of some biologically active peptides. *APK of Russia*. 29(2), 254-261. (In Russ.).
11. Kolberg, N.A., Tikhonova, N.V., Tikhonov, S.L. & Leontiev, S.A. (2022). Development of a technology for the isolation and study of the immunotropic action of bursal peptides in mice with experimental immunodeficiency. *Technique and technology of food production*. 52(2), 296-309. (In Russ.).
12. Kolberg, N.A. & Tikhonov, S.L., Tikhonova, N.V., Kudryashov, L.S. (2022). Influence of peptides from the bursa of fabricius in broiler chickens on the functional activity of subpopulations of lymphocytes in immunosuppressed mice. *Theory and Practice of Meat Processing*. 7 (2). 83-90.
13. Kuzmina, S.S., Kozubaeva, L.A. & Egorova, E.Yu. (2016). Influence of dietary supplement "pantorin" on the consumer properties of bakery products. *Polzunovskiy vestnik*. 2. 8-12. (In Russ.).
14. He, F.J., Tan, M., Ma, Y., MacGregor, G.A. & Salt (2020). Reductionto PreventHyper tension and Cardiovascular Disease. *J. Am. Coll. Cardiol.* 75, 632-647.
15. Webster, J.L.; Dunford, E.K. & Neal, B.C. (2010). A Systematic Survey of the Sodium Contents of Processed Foods. *Am. J. Clin. Nutr.* 92, 1003.
16. Reznichenko, I.Yu. & Akopyan, G.S. (2022) Biological activation of yeast and assessment of their influence on the baking process. *Technology and commodity science of innovative food products*. 6 (77). 83-88. (In Russ.).
17. Reznichenko, I.Yu., Akopyan, G.S., Tikhonov, S.L. & Tikhonova, N.V. (2022). Biological activation of baker's yeast and the possibility of enrichment of bakery products with peptides. *Health, Food & Biotechnology*. 4 (3). 49-58. (In Russ.).
18. Luz, C., Izzo, L., Ritieni, A., Manes, J. & Meca, G. (2020). Antifungal and antimycotoxic activity of hydrolyzed goat whey on *Penicillium*spp: An application as bio-preservation agent in pita bread. *Lwt*, 118, 108717. DOI <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108717>.
19. Nionelli, L., Wang, Y., Pantonio, E., Immonen, M., Rizzello, C.G., Maina, H.N., Coda, R. (2020). Antifungal effect of bioprocessed surplus bread as ingredient for bread-making: Identification of active compounds and impact on shelf life. *Food Control*, 118, 107437. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107437>.
20. Feng, G., Li, X., Wang, W., Deng, L. & Zeng, K. (2020). Effects of peptide thanatin on the growth and transcriptome of *Penicillium digitatum*. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.606482>.
21. Muhialdin, B.J., Hassan, Z., Bakar, F.A. & Saari, N. (2016). Identification of antifungal peptides produced by *Lactobacillus plantarum* IS10 grown in the MRS broth. *Food Control*, 59, 27-30. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.05.022>.
22. Souza, P.F.N., Marques, L.S.M., Oliveira, J.T.A., Lima, P.G., Dias, L.P., Neto, N.A.S. & Freitas, C.D.T. (2020). Synthetic antimicrobial peptides: From choice of the best sequences to action mechanisms. *Biochimie*, 175, 132-145. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2020.05.016>.
23. Lima, P.G., Freitas, C.D.T., Oliveira, J.T.A., Neto, N.A.S., Amaral, J.L., Silva, A.F.B. & Souza, P.F.N. (2021). Synthetic antimicrobial peptides control *Penicillium digitatum* infection in orange fruits. *Food Research International*, 147, 110582. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110582>.
24. Rizzello, C.G., Verni, M., Bordignon, S., Gramaglia, V. & Gobbetti, M. (2017). Hydrolysate from a mixture of legume flours with antifungal activity as an ingredient for prolonging the shelf life of wheat bread. *Food Microbiology*, 64, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.12.003>.

Information about the authors

I.Yu. Reznichenko - Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Biotechnology and Food Production, Kuzbass State Agricultural Academy.

G.S. Akopyan - Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Animal Products, Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 23.12.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 23 Dec 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК637.07
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.011

EDN: ZCPGKC

МИКРОСТРУКТУРНЫЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАМОРОЖЕННЫХ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ВЗБИТЫХ ДЕСЕРТОВ ПРИ ХРАНЕНИИ

Игорь Алексеевич Гурский¹, Антонина Анатольевна Творогова²

^{1, 2} Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – Филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Россия

¹ iixrug@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8177-3472>

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

Аннотация. Востребованность кисломолочных продуктов обусловлена наличием составных частей молока, жира, белков, углеводов, минеральных веществ, а также молочно-кислых микроорганизмов и продуктов ферментации. Инновационным кисломолочным продуктом длительного срока годности являются употребляемые в замороженном и размороженном состоянии кисломолочные десерты, производимые в соответствии с технологией мороженого. Целью исследования являлось изучение дисперсности воздушных пузырьков и кристаллов льда и выживаемости молочнокислых микроорганизмов кисломолочных десертов в процессе их хранения при температуре – 20 °С при содержании ферментированной составляющей 30 %, 50 % и 85 %.

Установлено, что независимо от количества ферментированной основы, средний размер воздушных пузырьков и кристаллов льда не превышал значение 50 мкм – показатель органолептической неощущимости кристаллов льда и кремообразной консистенции продукта, в значительной степени обусловленный размерами воздушных пузырьков. Наиболее стабильной дисперсность воздушной фазы и несколько сниженная дисперсность кристаллов льда в течение 180 суток хранения оставалась в десертах при использовании 85 % ферментированной основы.

При исследовании микробиологических показателей десертов установлено отсутствие патогенной микрофлоры и наличие не менее 10⁶ КОЕ/г молочнокислых микроорганизмов в течение всего периода хранения.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о высокой дисперсности кристаллов льда и воздушных фаз и высокой выживаемости молочнокислых микроорганизмов в кисломолочных десертах при хранении в течение 6 мес. при наличии в них не менее 30 % ферментированной основы и положительном влиянии ее повышенного количества на стабильность воздушной фазы.

Ключевые слова: замороженные взбитые кисломолочные десерты, дисперсность структурных элементов, выживаемость молочнокислых микроорганизмов, хранение.

Благодарности: статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

Для цитирования: Гурский И. А., Творогова А. А. Микроструктурные и микробиологические показатели замороженных кисломолочных взбитых десертов при хранении // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 84–90. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.011. EDN: <https://elibrary.ru/ZCPGKC>.

МИКРОСТРУКТУРНЫЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАМОРОЖЕННЫХ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ВЗБИТЫХ ДЕСЕРТОВ ПРИ ХРАНЕНИИ

Original article

MICROSTRUCTURAL AND MICROBIOLOGICAL INDICES OF THE FROZEN SOUR MILK AERATED DESSERTS AT STORAGE

Igor A. Gurskiy ¹, Antonina A. Tvorogova ²

^{1, 2} All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

¹ iixrug@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8177-3472>

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

Abstract. The demand for fermented milk products is due to the presence of such components of milk as fat, proteins, carbohydrates, minerals as well as lactic acid microorganisms and fermentation products. The fermented milk desserts consumed frozen and defrosted being produced according to the ice cream technology are the innovative fermented milk products with a long shelf life. The research of dispersion of the air bubbles and the ice crystals and survival of lactic acid microorganisms in the fermented milk desserts during their storage at a temperature of - 20°C with the content of a fermented component of 30 %, 50 % and 85 % were the aim of this study.

It was found that regardless of the amount of fermented base the mean size of the air bubbles and the ice crystals did not exceed the value of 50 μm being the indicator of the sensory imperceptibility of ice crystals and the creamy consistency of the product, mainly because of sizes of the air bubbles. The most stable dispersion of the air phase and slightly decreased dispersion of the ice crystals during 180 days of storage were found in desserts at using 85 % of fermented base.

The absence of pathogenic microflora and the presence of lactic acid microorganisms of at least 106 CFU/g were established in the research of microbiological indicators of desserts throughout the storage period.

Thus, the results obtained demonstrate a high dispersion of the ice crystals and the air phase and high survival of lactic acid microorganisms in the fermented milk desserts during 180 days of storing. The increase of the amount of fermented base in the composition of fermented aerated milk desserts over 30 % has a positive effect on the stability of the air phase.

Keywords: frozen aerated fermented milk desserts, dispersion of structural elements, survival of lactic acid microorganisms, storage.

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., Tvorogova, A.A. (2021). Microstructural and microbiological indices of the frozen sour milk aerated desserts at storage. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 84-90. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.011. EDN: <https://elibrary.ru/ZCPGKC>.

ВВЕДЕНИЕ

Спрос на кисломолочную продукцию, в частности на йогурты, постоянно растет. Это связано не только с органолептическими характеристиками продукта, но и с его влиянием на здоровье человека [1]. Кисломолочные продукты быстрее и легче усваиваются, их регулярное потребление восстанавливает баланс кишечной микрофлоры, они обладают антимикробным и бактерицидными свойствами, а также доступны к употреблению людям с непереносимостью лактозы [2]. Кисломолочные продукты являются источником кальция, магния, фосфора, незаменимых аминокислот, витаминов группы D, B6, B12 и рибо-

флавина [3]. К данной разновидности продукции можно отнести инновационный продукт – кисломолочные десерты, вырабатываемые на предприятиях отрасли мороженого и потребляемые в замороженном и размороженном состояниях [4].

Кисломолочные аэрированные десерты, производимые по технологии мороженого, представляют собой многофазную структуру, состоящую из кристаллов льда, незамерзающей плазмы, пузырьков воздуха и жировых глобул. Размер структурных элементов оказывает влияние на органолептические свойства продукта. Формируемые на стадии фризерования кристаллы льда при размере свыше 50 мкм органолептически ощущаются по-

требителями. Для замороженных десертов, в частности мороженого, это недопустимо. В связи с этим в ТР ТС 033/2013 для этого вида продукции присутствие органолептически ощутимых кристаллов льда не допускается. Кроме того, наличие органолептически ощутимых кристаллов льда считается признаком физической порчи продукта и учитывается при установлении срока его годности. В процессе производства десертов формируется кремообразная консистенция, в связи с формированием воздушной фазы и ее равномерным распределением по всему объему продукта. Взбитая структура облегчает процесс жевания продукта [5]. От дисперсности воздушной фазы зависит термо- и формостойчивость десерта [6].

Длительное сохранение продукции посредством замораживания является одним из часто используемых методов в пищевой промышленности. Снижение температуры ниже криоскопической точки замедляет или полностью останавливает протекание ряда физико-химических и биологических процессов, что способствует сохранению качества пищевой продукции длительного срока годности [7]. При производстве кисломолочных десертов на стадии «фризерование» доля вымороженной влаги доходит до 60 %. Последующее замораживание и хранение позволяет повысить этот показатель до 90 %. Наличие невымороженной влаги приводит к увеличению размеров кристаллов льда, что может сказать на органолептических показателях продукта. В процессе хранения незамерзшая вода диффундирует на поверхность кристаллов, что усиливает скорость их роста. Увеличение кристаллов возможно также за счет эффекта акреции – сращивание нескольких кристаллов, находящихся близко друг к другу [8]. Установлен механизм изменения воздушной фазы: диспропорционирование, коалесценция и дренирование. Как правило, данные механизмы взаимозависимы, но их результатом является потеря однородности воздушной фазы [9]. Из-за изменения воздушной фазы снижаются органолептические характеристики, текстура становится грубее, и продукт может уменьшаться в объеме.

Важным показателем замороженных кисломолочных десертов является содержание молочнокислых микроорганизмов на конец срока годности. Несмотря на то, что некоторые исследования считают, что молочнокислые микроорганизмы хорошо сохраняются при отрицательных температурах [10]. В процессе изготовления десертов по технологии мороженого их количество может быть снижено из-за

термомеханического воздействия. Наибольшее влияние на их выживаемость оказывает стадия фризерования. Образующиеся мелкие кристаллы льда во фризере повреждают оболочку бактериальной клетки, что приводит к ее разрыву и соответственно к нарушению жизнеспособности микроорганизмов [11].

Ранее было изучено влияние количества ферментируемой части продукта на дисперсность воздушной фазы в процессе размораживания кисломолочных десертов [12]. Однако вопрос стабильности микроструктурных элементов и выживаемости молочнокислых микроорганизмов в процессе хранения не рассматривался.

Таким образом, целью данной работы было изучение влияния продолжительности хранения при температуре -20°C и количества ферментируемой части на микроструктурные и микробиологические показатели кисломолочных десертов.

МЕТОДЫ

Для решения поставленной задачи были изготовлены 3 образца кисломолочного десерта с разным количеством ферментированной части.

Изготовленные образцы содержали 2,5 % молочного жира, 11,0 % сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), 10,0 % фруктозы, 6,0 % инулина, 2,0 % мальтодекстрина, 1,3 % желатина и 0,3 % эмульгатора (Е471). Доля ферментированной основы в образцах составляла: № 1 – 30 %, № 2 – 50 %, № 3 – 85 %. Рецептура исследуемых образцов представлена в таблице 1.

Общая схема изготовления десертов: смешивание сырьевых компонентов, подогрев смеси (65°C), гомогенизация (65°C , давление: 1 ступень – 20 МПа; 2 ступень – 5 МПа), пастеризация (85°C , 5 с), охлаждение (20°C), фризерование (до $-5,5^{\circ}\text{C}$), закаливание (-30°C , 5 суток), хранение (-18°C). В образцы № 1 и № 2 на стадии охлаждения вносили 30 % и 50 % йогурта. Образец № 3 после пастеризации охлаждали до 40°C , вносили закваску для йогурта, сквашивали до кислотности 110°T , вносили фруктозный сироп. Дальнейшие операции проводили в соответствии с общей схемой.

Исследование микроструктурных элементов проводили методом микроскопирования, с использованием микроскопа CX41RF (OLYMPUS, Япония) и термостолика РЕ 120 (Linkam Instruments, Великобритания). Полученные микрофотографии обрабатывали в программе Image Scope M (СМА, Россия).

МИКРОСТРУКТУРНЫЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАМОРОЖЕННЫХ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ВЗБИТЫХ ДЕСЕРТОВ ПРИ ХРАНЕНИИ

Таблица 1 – Рецептуры образцов десертов

Table 1 - Composition of the samples of desserts

Используемый компонент	Количество компонента в смеси образца, г		
	№ 1	№ 2	№ 3
Масло (м.д.ж. 82,5 %)	2,5	2,2	3,1
Сухое обезжиренное молоко (95 % сухих в-в.)	9,2	7,6	11,6
Йогурт питьевой (м.д.ж. 1,5 %, СОМО 7,6 %)	30	50	–
Фруктоза (95 % сухих в-в.)	–	10,5	–
Фруктозный сироп (50 % сухих в-в.)	–	–	20,0
Инулин (96 % сухих в-в.)	–	6,3	–
Мальтодекстрин (95 % сухих в-в.)	–	2,2	–
Желатин (95 % сухих в-в.)	–	1,4	–
Эмульгатор (Е471)	–	0,32	–
Вода	37,58	19,48	55,08
Итого	100	100	100
Закваска для йогурта	–	–	1

Таблица 2 – Средние размеры структурных элементов

Table 2 - Mean sizes of structural elements

Образец №	Срок хранения, суток			
	5	30	90	180
Средний размер пузырьков воздуха, мкм				
1	34,0±19,5 ^А	37,5±21,5 ^а	40,6±24,9 ^а	33,4±19,3 ^{а^А}
2	36,8±19,6 ^а	34,4±19,3 ^{б^А}	33,6±18,5 ^{АВ}	34,4±19,1 ^{а^{АВ}}
3	37,5±22,2 ^{а^А}	35,6±23,3 ^{аб^А}	38,8±24,8 ^{а^{АВ}}	39,3±24,0 ^{АВ}
Средний размер кристаллов льда, мкм				
1	34,8±12,5 ^{а^А}	x	x	34,8±14,4 ^{а^А}
2	31,7±13,2	x	x	34,9±15,0 ^а
3	36,4±15,5 ^а	x	x	39,8±16,9
Значения с одинаковой буквой значимых различий не имеют ($P > 0,05$).				
А, В – между сроками хранения; а, б – между образцами				

Установлено, что в образце № 1 через 180 суток хранения произошло снижение среднего размера пузырьков воздуха на 18 %. В образце № 2 не выявлено значимых различий в размерах пузырьков воздуха через 30, 90 и 180 суток хранения. На дисперсность воздушной фазы образца № 3 хранение не оказало значимого влияния. Образцы № 2 и для исследования дисперсности воздушной фазы пробу подготавливали следующим образом: тонкий срез образца десерта помещали на предметное стекло и накрывали покровным. При подготовке пробы для исследования кристаллов льда использовали керосин с температурой -18°C для распределения их в объеме. Подготовленные пробы микроскопировали в проходящем свете.

Содержание молочнокислых и наличие патогенных микроорганизмов определяли с использованием тест-пластин Petrifilm (3M, США) в соответствии с методиками производителя.

Обработку результатов исследования

проводили посредством использования языка программирования R (версия 4.2.1) и среды анализа данных Rstudio (версия 2022.07.2).

Исследования были проведены в лаборатории технологии мороженого ВНИХИ – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Дисперсность воздушной фазы образцов десерта и средний размер пузырьков определяли через 5, 30, 90 и 180 суток хранения. Результаты исследований приведены на рисунке 1 и в таблице 2.

Дисперсность кристаллов льда и их средний размер оценивали через 5 и 180 суток хранения. График плотности распределения кристаллов льда по размерам представлен на рисунке 2, средний размер кристаллов – в таблице 1.

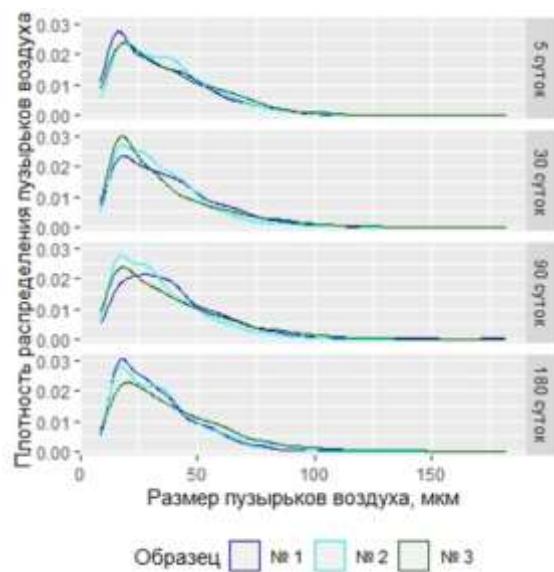


Рисунок 1 – График распределения пузырьков воздуха в процессе хранения

Figure 1 - Graph of the distribution of the air bubbles during storage

Образцы № 2 и № 3 имели схожие средние размеры воздушных пузырьков через 5 суток хранения, которые были выше, чем в образце № 1.

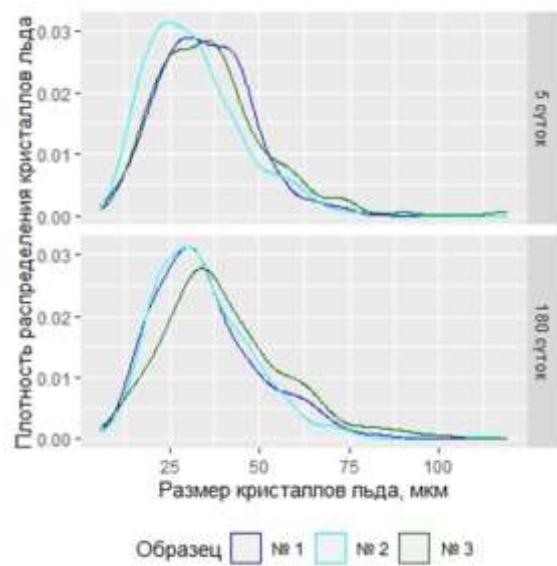


Рисунок 2 – График распределения кристаллов льда в процессе хранения

Figure 2 - Graph of the distribution of the ice crystals during storage

Было установлено значимое увеличение кристаллов льда.

Результаты микробиологических исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Микробиологические показатели образцов десертов

Table 3 - Microbiological indicators of dessert samples

Точка контроля	Количество молочнокислых микроорганизмов	БГКП	S.aureus
В смеси перед фризерованием	$2,1 \cdot 10^7$	Не обнаружено	Не обнаружено
90 суток хранения	$1,1 \cdot 10^7$	Не обнаружено	Не обнаружено
180 суток хранения	$7,6 \cdot 10^6$	Не обнаружено	Не обнаружено

Из таблицы 3 следует, что через 180 суток хранения содержание молочнокислых организмов составило не ниже 10^6 КОЕ/г. Наличие патогенных микроорганизмов (БГКП и S.aureus) не установлено на протяжении всего периода хранения.

ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе хранения десертов важно сохранить без существенных изменений исходную дисперсность структурных элементов (кристаллов льда и воздушных пузырьков). Дисперсность этих структурных элементов оказывает влияние на состояние структуры и консистенцию продукта. При их величине более 50 мкм кристаллы льда органолептически ощущаются, а воздушные пузырьки снижают уровень кремообразного состояния конси-

стенции. Увеличение среднего размера пузырьков воздуха в процессе хранения, что можно наблюдать в образце № 1 через 30 и 90 суток, связано с эффектом коаллесценции, а снижение значения этого показателя через 180 суток – с эффектом диспропорционирования. Значимых различий среднего размера пузырьков воздуха в образце № 3 в период его хранения не наблюдалось. Также о стабильности воздушной фазы в процессе хранения можно судить по отсутствию изменений на графике, представленном на рисунке 1. В образце № 2 снижение среднего размера пузырьков воздуха на 2,5 мкм отмечено лишь через 30 суток хранения, дальнейших значимых изменений установлено не было. Можно предположить, что увеличение количества ферментируемой части позволяет повысить

МИКРОСТРУКТУРНЫЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАМОРОЖЕННЫХ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ВЗБИТЫХ ДЕСЕРТОВ ПРИ ХРАНЕНИИ

стабильность воздушной фазы. Отмеченное изменение возможно из-за увеличения количества денатурированного белка, пропорционально количеству ферментируемой части продукта. Образованная матрица в результате денатурации белка прочнее удерживает невымороженную влагу, что уменьшает взаимодействие фаз в продукте.

Исследование показало, что во всех образцах средний диаметр кристаллов льда ниже 50 мкм, что исключает их органолептическое ощущение при потреблении продукта. Установлено, что за 180 суток хранения в образцах № 2 и № 3 средний размер кристаллов льда увеличился не более, чем на 3,1 мкм. Увеличение их среднего размера связано с сращиванием близлежащих кристаллов. В образец № 1 не выявлено значимого увеличения среднего размера кристаллов. Фактором, оказавшим влияние на дисперсность кристаллов льда, в частности на наиболее низкое значение среднего размера кристаллов льда через 5 суток, в образце № 2 является наиболее высокая исходная вязкость смеси [12].

По результатам микробиологических исследований можно сделать вывод, что по показателям БГКП и *S.aureus* продукция является безопасной. Количество молочнокислых микроорганизмов через 180 суток хранения выше регламентируемого допустимого значения для кисломолочных продуктов. Высокая выживаемость молочнокислых микроорганизмов может быть связана с использованием желатина в качестве основного стабилизатора, который мог создать дополнительную оболочку, защищающую бактерий от механического воздействия кристаллов льда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования в кисломолочных взбитых десертах дисперсности структурных элементов и микробиологических показателей в процессе хранения в течение 6 мес. при температуре -20°C было установлено:

- независимо от количества ферментируемой части (при ее количестве не менее 30 %), средний размер кристаллов льда и воздушных пузырьков не превышает 50 мкм;
- увеличение количества ферментируемой части в продукте повышает стабильность воздушной фазы в процессе хранения;
- в кисломолочных десертах с массовой долей ферментируемой части не менее 30 % в присутствии желатина в течение 6 мес. хранения при температуре не выше минус 18°C исследуемый состав кисломолочных десертов позволяет сохранить не менее 10^6 молочнокислых микроорганизмов через 180 суток хранения.

личного десерта позволяет сохранить не менее 10^6 молочнокислых микроорганизмов через 180 суток хранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Струрова Ю.Г., Гильдерман Д.Д. Использование растительного компонента в биотехнологии йогурта // Ползуновский вестник. 2021. № 3. С. 95–101. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.013.
2. Научно-технические основы биотехнологии молочных продуктов нового поколения / А.Г. Храмцов [и др.]. Ставрополь : СевКавГТУ, 2002. 118 с.
3. Shah N.P. Yogurt in Health and Disease Prevention. United States : Elsevier Science Publishing Co Inc, 2017. 570 р.
4. Гурский И.А., Творогова А.А., Шобанова Т.В. Состояние структуры размороженных аэрированных кисломолочных десертов при хранении // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82, № 2. С. 94–100. DOI: 10.20914/2310-1202-2020-2-94-100.
5. Zúñiga R.N., Aguilera J.M. Aerated food gels. Fabrication and potential applications // Trends Food Sci. Technol. 2008. Vol. 19, № 4. Р. 176–187. DOI: 10.1016/j.tifs.2007.11.012.
6. The influence of food hydrocolloids on changes in the physical properties of ice cream / S.H. Park [et al.] // Food Sci. Biotechnol. 2006. № 15. Р. 721–727.
7. Красноселова Е.А., Варивода А.А. Анализ и особенности технологии производства фруктово-ягодных соусов // Ползуновский вестник. 2020. № 4. С. 66–69. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.013.
8. Mechanisms of ice crystallization and recrystallization in ice cream: a review / S. Adapa [et al.] // Food Reviews International. 2000. Vol. 16, № 3. Р. 259–271. DOI: 10.1081/fri-100100289.
9. Chang Y., Hartel R. Stability of air cells in ice cream during hardening and storage // Journal of Food Engineering. 2002. Vol. 55, № 1. Р. 59–70. DOI: 10.1016/s0260-8774(01)00242-4.
10. Influence of Storage Temperature and Packaging on Bacteria and Yeast Viability in a Plant-Based Fermented Food / M. Cabello-Olmo [et al.] // Foods. 2020. Vol. 9, № 3. DOI: 10.3390/foods9030302.
11. Kemsawasd V., Chaikham P. Effects of Frozen Storage on Viability of Probiotics and Antioxidant Capacities of Synbiotic Riceberry and Sesame-Riceberry Milk Ice Creams // Current Research in Nutrition and Food Science Journal. 2020. Vol. 8, № 1. Р. 107–121. DOI: 10.12944/CRNFSJ.8.1.10.
12. Гурский И.А. Влияние количества ферментированной основы на дисперсность воздушной фазы размороженных десертов // Foodsystems. 2021. Т. 4, № 3S. С. 67–70. DOI: 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-67-70.

Информация об авторах

И. А. Гурский – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории технологии мороженого ВНИИХИ – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

А. А. Творогова – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории техно-

логии мороженого ВНИКИ – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

REFERENCES

1. Sturova, Y.G. & Gilderman, D.D. (2021). Use of plant component in yogurt biotechnology. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 95-101 (In Russ). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.013.
2. Khramtsov, A.G., Sinelnikova, B.M., Kostina, V.V. & Ryabtseva, S.A. (2002). Scientific and technical foundations of the biotechnology of dairy products of a new generation. Stavropol :North-caucasus federal university. (In Russ).
3. Chandan, R.C., Gandhi, A. & Shah, N.P. (2017). *Yogurt in Health and Disease Prevention*. United States: Elsevier Science Publishing Co Inc.
4. Gurskiy, I.A., Tvorogova, A.A., Shobanova, T.V. (2020). The Condition of the Structure of the Thawed Aerated Sour-Milk Desserts during its Storage. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 82(2), 94-100 (In Russ). DOI: 10.20914/2310-1202-2020-2-94-100.
5. Zúñiga, R.N. & Aguilera, J.M. (2008). Aerated food gels. Fabrication and potential applications. *Trends Food Sci. Technol.*, 19 (4), 176-187. DOI:10.1016/J.TIFS.2007.11.012.
6. Park, S.H., Hong, G.P., Kim, J.Y., Choi, M.J. & Min, S.G. (2006). The influence of food hydrocolloids on changes in the physical properties of ice cream. *Food Sci. Biotechnol.*, (15), 721-727.
7. Krasnoselova, E.A. & Varivoda, A.A. (2020). Analysis and features of the production technology of fruit and berry sauces. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 66-69 (In Russ). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.013.
8. Adapa, S., Schmidt, K.A., Jeon, I.J., Herald, T.J., & Flores, R.A. (2000). Mechanisms of ice crystallization and recrystallization in ice cream: a review. *Food Reviews International*, 16(3), 259-271. DOI:10.1081/fri-100100289.
9. Chang, Y. & Hartel, R. (2002). Stability of air cells in ice cream during hardening and storage. *Journal of Food Engineering*, 55(1), 59-70. DOI:10.1016/s0260-8774(01)00242-4.
10. Cabello-Olmo, M., Oneca, M., Torre, P., Díaz, J.V., Encio, I.J., Barajas, M. & Araña, M. (2020). Influence of Storage Temperature and Packaging on Bacteria and Yeast Viability in a Plant-Based Fermented Food. *Foods*, 9(3). DOI: 10.3390/foods9030302.
11. Kemsawasd, V. & Chaikham, P. (2020). Effects of Frozen Storage on Viability of Probiotics and Antioxidant Capacities of Synbiotic Riceberry and Sesame-Riceberry Milk Ice Creams. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 8(1), 107-121. DOI: 10.12944/CRNFSJ.8.1.10.
12. Gurskiy, I.A. (2021). Effect of fermented base amount on dispersion of air phase of thawed desserts. *Food systems*, 4(3S), 67-70 (In Russ). DOI: 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-67-70.

Information about the authors

I.A. Gurskiy - graduate student, junior researcher, the laboratory of ice cream technology, VNIKHI - Branch of Gorbatov Federal Research Center for Food Systems.

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 13.12.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 13 Dec 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



Обзорная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.8
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.012

EDN: ZHSWKW

ОБЗОР РАЗРАБОТОК БИОРАЗЛАГАЕМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Леонид Чеславович Бурак

Общество с ограниченной ответственностью «Белросаква», Минск, Республика Беларусь
leonidburak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Аннотация. Повышение заинтересованности потребителей в качественных и безопасных продуктах питания способствует развитию инноваций в области упаковочных материалов. Целью работы является обзор последних разработок в области биоразлагаемой активной и интеллектуальной упаковки для пищевых продуктов, анализ существующих проблем и ограничений в применении. В обзор включены статьи, опубликованные на английском и русском языках за период 2010–2022 гг. Для поиска были использованы базы данных Scopus, Web of Science, Elsevier, Elibrary. Проведенный обзор показал, что при разработке активных биоразлагаемых упаковок для продуктов питания широкое применение находят эфирные масла и растительные экстракты. Ключевая роль принадлежит полифенолам и особенно антоцианам, которые показывают все происходящие изменения качественных характеристик продуктов питания и увеличивают при этом их срок хранения. «Умная», биоразлагаемая упаковка является новой и перспективной областью научных исследований, которой за последние годы уделяется важное значение. С этой целью необходимо проводить дальнейшие исследования и разработки, направленные на улучшение качества биоразлагаемых видов упаковки, более полное высвобождение биологически активных соединений, снижение влияния pH, а также сохранение целостности пленки в интеллектуальной упаковке.

Ключевые слова: биоразлагаемая упаковка, активная упаковка, биополимеры, индикаторы, антиоксиданты, наночастицы, смарт-пленки.

Для цитирования: Бурак Л. Ч. Обзор разработок биоразлагаемых упаковочных материалов для пищевой промышленности // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 91–105. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.012. EDN: <https://elibrary.ru/ZHSWKW>.

Original article

OVERVIEW OF DEVELOPMENTS OF BIODEGRADABLE PACKAGING MATERIALS FOR THE FOOD INDUSTRY

Leonid Ch. Burak

Belrosakva Limited Liability Company, Minsk, Republic of Belarus
leonidburak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Abstract. Increasing consumer interest in quality and safe food is fueling innovation in packaging materials. The aim of the work is to review the latest developments in the field of biodegradable active and intelligent packaging for food products, to analyze existing problems and limitations in application. The review includes articles published in English and Russian for the period 2010-2022. The databases Scopus, Web of Science, Elsevier, Elibrary were used for the search. The review showed that in the development of active biodegradable packaging for food, essential oils and plant extracts are

widely used. The key role belongs to polyphenols and especially anthocyanins, which show all the ongoing changes in the quality characteristics of food products and at the same time increase their shelf life. Smart, biodegradable packaging is a new and promising area of scientific research, which has received great attention in recent years. To this end, further research and development is needed to improve the quality of biodegradable packaging, more fully release biologically active compounds, reduce the effect of pH, and maintain the integrity of the film in smart packaging.

Keywords: biodegradable packaging, active packaging, biopolymers, indicators, antioxidants, nanoparticles, smart films.

For citation: Burak, L.Ch. (2023). Overview of the development of biodegradable packaging materials for the food industry. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 91-105. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.012. EDN: <https://elibrary.ru/ZHSWKW>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время основная часть упаковочных материалов, предназначенных для сохранения качества и безопасности пищевых продуктов и применяемых в пищевой цепи производство – торговая сеть – потребитель, пригодны для одноразового использования и изготовлены из пластиковых материалов [1]. Общеизвестно, что пластик имеет длительный период разложения, и это является экологической проблемой. На сегодняшний день баланс между производством и переработкой упаковочных материалов также неблагоприятен для окружающей среды, так как производство в разы превышает объемы переработки отходов. Согласно опубликованным данным Европейского Союза, в 2019 г. на пластиковую упаковку (включая продукты питания и другие виды использования) приходилось более 15 миллионов тонн, что на 26 % больше по сравнению с 2009 г. [2]. Независимо от политических процессов в мире, пандемии и вооруженных конфликтов, необходимость снижения отходов и, как следствие, загрязнения окружающей среды очень актуальна.

Повышение осведомленности потребителей о безопасности и качестве пищевых продуктов стимулирует развитие инновации в области упаковки пищевых продуктов. Интеллектуальная и активная упаковка была разработана для расширения коммуникативной функции упаковки и соответственно поддержания и улучшения качества продуктов питания [3]. Активными принято считать любое вещество или материал, которые могут продлить срок годности или сохранить / улучшить состояние упаковки. Эти вещества целенаправленно добавляются в упаковку для выполнения определенных функций, таких как выделение или поглощение CO₂, O₂, этилена, антиоксидантов и противомикробных препаратов. Эти вещества чувствительны к изменению характеристик продукта или внутренней части упаковки. Сама упаковка не

продлевает срок годности и не улучшает качество пищевых продуктов, но такая упаковка может отслеживать качество продуктов и предоставлять количественную информацию в режиме реального времени с точки зрения изменения цвета или других физических параметров [4, 5]. Другими словами, активная упаковка (АУ) сохраняет или улучшает качество, а интеллектуальная упаковка (ИУ) дает информацию о качестве продукта. Кроме того, как отмечают ученые, интеллектуальные и активные технологии упаковки могут быть объединены для создания «умной упаковки» [6].

В настоящее время «умная» упаковка из пластика, металла, стекла и бумаги успешно применяется для многих видов пищевых продуктов. Однако их производство является энергоемким и приводит к выбросам вредных веществ, которые оказывают существенное влияние на окружающую среду [7]. Другой важной проблемой для всех стран, и развитых в том числе, является обращение с отходами упаковки. Кроме всего прочего, миграция опасных соединений из обычных интеллектуальных упаковочных систем и последующее потребление в результате неправильной утилизации упаковочных материалов на основе продуктов нефтепереработки вызывают серьезные проблемы со здоровьем и воздействием на окружающую среду. Поэтому с целью снижения вредного воздействия на окружающую среду разработка и применение натуральных соединений для упаковки пищевых продуктов вызывает повышенный интерес многих научных исследователей и является новым и перспективным направлением научных разработок.

Противомикробные агенты и антиоксиданты, получаемые из растительного сырья, находят применение в активной упаковке в качестве альтернативы искусственным пищевым консервантам. Периодическое высвобождение этих веществ оказалось очень эф-

ОБЗОР РАЗРАБОТОК БИОРАЗЛАГАЕМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

фективным для предотвращения окисления пищевых продуктов и ингибиования микробиологической порчи пищевых продуктов. Кроме того, добавление натуральных красителей и наночастиц необходимого качества, пригодного для применения в пищевых продуктах, в биополимерную матрицу способствовало разработке биоразлагаемой интеллектуальной упаковки.

Следует отметить, что многие проведенные обзоры научных публикаций, как правило, были сосредоточены на одном аспекте характеристик биоразлагаемых пленок, таких как биополимеры, биологически активные соединения, функциональность (интеллектуальная или активная) или контролируемое высвобождение. Целью настоящей статьи является представление аналитического всестороннего обзора активных и интеллектуальных функций биоразлагаемых пленок как по отдельности, так и в комбинировании с другими, используемых для разработки «умной» упаковки. Представленный обзор, более обширный, и способен дать всестороннее представление об основных аспектах биоразлагаемых пленок, интеллектуальных, активных и умных упаковок пищевых продуктов для исследователей в этой области [8, 9, 10, 11].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поиск зарубежной научной литературы на английском языке по данной теме проводили в библиографических базах «Google Scholar», «Scopus», «Web of Science», «Elsevier». Для отбора научных статей на русском языке провели поиск по ключевым словам в «Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU». Также выполнили обзор научных журналов по тематике исследования. При отборе публикаций для обзора приоритет отдавали высокоцитируемым источникам. Были просмотрены списки литературы отобранных статей для выявления дополнительных релевантных источников информации. В качестве временных рамок для обзора научных публикаций был принят период 2010–2021 гг. Более ранние научные статьи изучали только при отсутствии новых публикаций по конкретным аспектам исследуемой темы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Биоразлагаемая интеллектуальная упаковка

В процессе хранения упакованные пищевые продукты претерпевают ряд изменений, что приводит к изменению состава среды упаковки. Это такие процессы, как изменения рН, состава газа в результате химической и микро-

биологической порчи, образование вредных соединений, таких как амины, аммиак, H_2S и т. д. С целью обнаружения и индикации присутствия данных ключевых соединений в биополимеры в ходе процесса производства упаковочного материала добавляются интеллектуальные соединения (вещества, чувствительные к присутствию одного конкретного соединения или класса соединений). Было установлено, что в результате реакции на происходящие изменения внутри упаковки, некоторые виды натуральных красителей меняют свой цвет. Изменение цвета может быть легко обнаружено потребителем, что и указывает на пригодность упакованного продукта к употреблению. Внесение натуральных красителей в биоразлагаемые пленки описано в следующих разделах.

1.1. Индикаторы свежести на основе рН

В результате процесса дыхания и действия микроорганизмов во время хранения овощей, фруктов, мясных и молочных продуктов происходит изменение рН. С целью контроля качества этих пищевых продуктов и изменение рН можно отслеживать путем включения в упаковочные материалы чувствительные к рН соединения для пищевых продуктов. Данные соединения претерпевают различные химико-структурные изменения, которые в итоге приводят к изменению цвета. Учитывая данные свойства, ученый Li в соавторстве с другими [5] проанализировал способность антоцианов, полученных из пурпурного картофеля, в качестве интеллектуального соединения в биоразлагаемых пленках на основе хитозана и хитина. Полученные пленки подвергали воздействию кислой и щелочной среды и в зависимости от рН отслеживали изменение цвета. Причину изменения окраски пленок авторы связывают с изменением химической структуры антоцианов при различных значениях рН. В частности, флавилиевый катион в антоциане является преобладающей формой при рН в диапазоне 1–3, что визуально воспринимается по преобладающему красному цвету в окраске. При рН 3,0–6,0 пленки обесцвечивались за счет гидратации флавилиевого катиона с последующим превращением в метанол и халконое основание. Повышение рН до щелочного приводило к синей окраске, обусловленной образованием хинонового основания. Аналогичные результаты по изменению цвета были получены и другими исследователями, которые добавляли антоцианы из фиолетового картофеля, красной капусты, ягод жимолости и винограда в упаковочные пленки на основе целлюлозных нановолокон, нового конжака,

глюкоманнана, рыбьего желатина, хитозана и к-каррагинана [4, 12, 13].

Также для отслеживания изменений pH наряду с антоцианами pH-чувствительные экстракты зеленого чая и пуэра показали свою эффективность в пленках на основе фурцелларана и желатина [6]. В результате данного исследования установлено, что пленки становились белыми в буферном растворе, при pH 3,0 и приобретали оранжевый оттенок при повышении pH до 12,0. При этом пленки, наполненные экстрактом пуэра, показали большее обесцвечивание при кислом pH, тогда как пленки, приготовленные с экстрактом зеленого чая, показали большее обесцвечивание при щелочном pH. Аналогичный результат обесцвечивания получен и при нанесении пленок на мясо рыбы, но нанесенные пленки при этом показали набухание и порчу (от краев) из-за высокой растворимости (43–44 %) и высокого индекса набухания (80 %) фурцелларан-желатина. Следует отметить и другие соединения, вызывающие изменение цвета в зависимости от pH в биоразлагаемых пленках, это экстракт розмарина, который добавляли в фурцелларан-желатин [3], экстракт жамуна в крахмале [6], беталанины в крахмале или желатине, поливиниловый спирт и ализарин в хитозане [14, 15].

Также в некоторых научных исследованиях показано применение различных комбинаций в производстве пленок для мониторинга изменения pH в пищевых продуктах. Одной из важных проблем, связанных с разработкой и внедрением этой категории инновационной упаковки, является использование безопасных красителей. Использование синтетических соединений с неизвестным уровнем безопасности может представлять опасность для здоровья потребителя [16]. На основании вышеизложенного в дальнейших научных исследованиях следует рассмотреть возможность использования натуральных красителей, таких как антоцианы и другие экстракты, богатые полифенолами, уделяя особое внимание побочным продуктам переработки агропромышленного производства.

1.2. Детекторы обнаружения углекислого газа CO₂

Процесс микробиологической порчи мясных продуктов, овощей, фруктов и других пищевых продуктов приводит к образованию и постоянному накоплению углекислого газа CO₂ в среде упаковки [17]. Проведенный анализ научных публикаций показывает, что некоторые исследования посвящены разработке биоразлагаемых пленок и покрытий, способных контролировать содержание CO₂

внутри упаковки. Так, например, авторы Saliu & Della Pergola [18] в ходе исследования изготовили этикетку из этилцеллюлозной пленки с водным индикатором, состоящим из лизина, полилизина и антоцианов. Этикетки быстро меняли свой цвет даже при низком уровне CO₂ (до 2,5 %), а на воздухе цвет менялся на первоначальный. Механизм процесса изменения окраски основан на реакции между ε-аминогруппой лизина и CO₂, приводящей к образованию производного карбаминовой кислоты и подкислению пленки, поэтому, цвет антоцианов изменился. Дальнейшие исследования в качестве активного покрытия для консервирования свежей куриной грудки оказались очень эффективными, поскольку указывали на образование CO₂ в результате микробной порчи при низкой температуре (0–5 °C).

Основываясь на полученных результатах, авторы Lyu и другие соавторы [19] разработали систему упаковки с использованием бромтимолового синего и тетрабутиламмония в качестве индикаторов для обнаружения CO₂. Интеллектуальная упаковка оказалась чувствительной к изменениям содержания CO₂ в окружающей среде упаковки (от голубоватого до желтоватого цвета по мере увеличения концентрации CO₂). Также следует отметить эксперимент, проведенный учеными Wan X. и др. [20, 21], которые исследовали применение биоразлагаемой пленки, где в качестве индикаторов использовали бромрезоловый синий и метиловый красный для контроля изменений в бананах в процессе хранения при 10 °C. Анализ процесса показал, что накопление CO₂ коррелирует с цветом пленки от синего (свежего) до желтого (не свежего).

Для контроля качества ферментированных продуктов ученыe Jung и др. [22] разработали чувствительный к CO₂ индикатор на основе хитозана (0,1 %, 0,2 %, 0,3 %, 0,4 %) и 2-амино-2-метил-1-пропанола (АГ). В ходе исследования авторы подвергали все хитозановые пленки воздействию 100 % CO₂ и установили, что индикатор с содержанием хитозана 0,2 % и 0,3 % становился прозрачным. Авторы объясняют это явление тем, что CO₂ поглощается водным раствором хитозана и образует угольную кислоту (HCO₃⁻). Затем происходит процесс диссоциации H₂CO₃ на ион водорода (H⁺) и ион бикарбоната (HCO₃⁻). Ион водорода реагирует с аминогруппой хитозана и изменяет супензию с непрозрачной на прозрачную, обеспечивая контроль качества продукта в режиме реального времени.

Данное исследование свидетельствуют об эффективности применения биоразлагаемых чувствительных пленок для мониторинга обра-

ОБЗОР РАЗРАБОТОК БИОРАЗЛАГАЕМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

зования CO_2 в пищевых продуктах в процессе обработки и хранения. Другим важным аспектом систем, разработанных в этих исследованиях, является их универсальность для индикации изменений доли CO_2 при изменении цвета, а также выбранных интеллектуальных соединений. В то время как высокая чувствительность к низкой концентрации CO_2 была получена в ходе исследования с использованием антоцианов (до 20 % CO_2) [18], другие исследования с использованием промышленных красителей, таких как бромтимоловый синий и смесь тетрабутиламмония, были более заметны при более высоком уровне CO_2 ($\geq 60\%$ CO_2). На основании этого можно сделать вывод, что биоразлагаемая интеллектуальная упаковка может производиться и применяться для мониторинга CO_2 , с целью достижения необходимого содержания CO_2 при ферментации или обеспечении срока годности.

1.3. Индикаторы температуры

Температура является важным фактором, определяющим рост микроорганизмов, метаболическую активность и другие химические реакции, происходящие в пищевом продукте. Поэтому осуществление контроля температуры во время хранения, транспортировки и розничной продажи является одной из важных задач по обеспечению безопасности и качества пищевых продуктов. Исследователи Maciel и др. [23] разработали биоразлагаемые термочувствительные пленки с использованием антоцианов в хитозане. Авторы выдерживали пленки при температуре 20 °C, 40 °C и 60 °C в течение 72 часов. Не обратимое изменение цвета от светло-фиолетового до светло-желтого наблюдалось после выдержки при температуре 40 °C. Аналогичные результаты эти ученые получили в покрытиях из хитозана и антоцианина на картонной бумаге. Процесс изменения цвета авторы объясняют тепловой деградацией антоцианов, которые превращаются в халкон, а затем в производное глюкозида кумарина, что и дает желтый цвет. Другой класс температурных индикаторов, обычно известный как индикатор температуры-времени (ИТВ), был разработан группой ученых с использованием антоциана в хитозане и поливиниловом спирте. Данные пленки применяли для контроля сроков хранения молока [24, 25]. В молоке воздействие температуры охлаждения выше оптимальной в течение длительного периода способствует микробной деградации и накоплению молочной кислоты, что в конечном итоге снижает pH молока. В этих условиях

антоцианы вызывают явное изменение цвета, воспринимаемое человеческим глазом, что приводит к дифференциации свежего (пленка темно-серого цвета при pH 6,7) до испорченного молока (пленка темно-розового цвета при pH 4,6 через 4 дня при 25 °C). В действительности температурные индикаторы чувствительны к изменению pH. Изменение цвета пленки происходит из-за изменения pH при колебаниях температуры. Это может привести в заблуждение, так как колебания pH (в среде упаковки) могут происходить и из-за некоторых других факторов, таких как CO_2 , общий летучий азот и т. д. Поэтому важно и необходимо проводить поиск и разработку индикаторов, чувствительных к колебаниям температуры, не зависящих при этом от других промежуточных факторов.

1.4. Индикаторы присутствия кислорода

Присутствие кислорода в пищевой упаковке стимулирует метаболическую и микробную активность, а также физико-химические изменения, которые можно заметить по цвету, вкусу и запаху обработанных и необработанных пищевых продуктов. Во избежание этих изменений в атмосфере упаковки снижают концентрацию кислорода. Но, как известно, кислород может проникать сквозь упаковочный слой и вызывать вышеупомянутые нежелательные процессы. В данном контексте в ходе нескольких исследований были проанализированы проявление пленок для обнаружения проникновения кислорода через материалы, упакованные с пищевыми продуктами. Ученые Mills и другие [26] разработали биоразлагаемую пленку для индикации воздействия кислорода. По данным этих авторов, через 15 мин пленка изменила свой цвет с синего на желтый. Также была разработана бесцветная и УФ-активируемая метилцеллюлозная пленка для индикации воздействия воздуха (21 % кислорода) [26].

В этом направлении также следует отметить эксперимент, проведенный группой ученых Deshwal и др. [27]. Авторы изучали формирование пленки, чувствительной к кислороду, активируемой ультрафиолетовым светом (альгинат натрия, казеинат натрия и каррагинан), с добавлением индикатора метилового синего. Пленки подвергались воздействию кислорода в диапазоне от 1 до 10 % и оказались одинаково чувствительными (как было видно из значений L^* , a^* и b^* , измеренных с помощью колориметра) при всех концентрациях кислорода. Было установлено,

что каррагинановая пленка имеет меньшую миграцию соединений в воду и пищевые имитаторы (10 % этанол, 50 % этанол, 3 % уксусная кислота и н-гептан) по отношению к двум другим пленкам. На основании этого авторы высказали предположение, что каррагинановая пленка является наиболее подходящим индикатором утечки кислорода среди всех трех пленок для прямого (вакуумного) и непрямого (упаковка в модифицированной газовой среде) пищевых продуктов.

Важным аспектом, связывающим текущие исследования с ожидаемым применением в пищевых продуктах, является характеристика способности данных видов пленок сохранять свои интеллектуальные соединения. В этом направлении авторы Vu и Won [28] разработали другое биоразлагаемое кислородное покрытие, активируемое ультрафиолетовым светом. В данном случае интеллектуальное покрытие готовили с использованием альгината и лизеина (биополимера) и комбинации тионина, P25TiO₂ и глицерина в качестве чувствительной системы. Тест на потерю соединений показал, что альгинатные покрытия обладают более высокой способностью удерживать соединения интеллектуальной системы по сравнению с зеином (5,80 против 80,8 % потери после 24 часов погружения в воду). Кроме того, авторы также отмечают, что альгинатное покрытие восстанавливало свой цвет после 4-часового воздействия УФ-излучения. В последующем исследовании той же группы ученых проведено исследование влияния биополимера (каррагенан или зеин) и окислительно-восстановительного красителя (метиленовый синий, азур А или тионин) на создание системы индикатора кислорода. Зеин имел низкую способность предотвращать снижение элементов интеллектуальной системы по отношению к каррагенановым пленкам. Авторы сделали предположение, что каррагинан с метиленовым синим можно рассматривать в качестве составляющих при проведении дальнейших исследований.

1.5. Показатели общего летучего основного азота

Общий летучий основной азот (TVB-N) относится к летучим аминам (таким, как три-метиламин, диметиламин и аммиак), используемым для контроля срока годности рыбы и морепродуктов. Эти летучие соединения образуются в процессе микробной деградации аминокислот (особенно в мясе рыбы) [29]. Для контроля содержания TVB-N были раз-

работаны биоразлагаемые пленки на основе камеди и поливинилового спирта (PVOH) с использованием куркумина в качестве чувствительного материала [30]. Эта пленка подвергалась воздействию водно-аммиачной среды при относительной влажности 33 %, 53 %, 75 % и 90 %. Было установлено, что летучий аммиак реагировал с водой с образованием NH₄⁺ и OH⁻ при высокой относительной влажности. Данные условия создавали щелочную среду вокруг пленок и способствовали реакции между OH⁻ и куркумином. Затем образование фенольного аниона кислорода изменило цвет пленок (от желтого до оранжевого). Применение этой пленки на креветках показало аналогичные результаты при изменении содержания TVBN с 14,82 до 60,02 (мг/100 г). В своем исследовании авторы Liang и др. [31] установили эффективность использования экстракта краснокочанной капусты в качестве красителя для смолы *Artemisia sphaerocephala* Krasch и пленки из карбоксиметилцеллюлозы натрия. Изменение цвета с желто-зеленого на желтый наблюдалось при воздействии на пленки NH₃. Группа исследователей приготовили аналогичные пленки, включив антоцианы, полученные из рисовых отрубей, в матрицу из окисленного хитина и хитозана. Полученные пленки рекомендованы авторами для контроля сроков годности морепродуктов на белковой основе [32].

Беталайны представляют собой натуральные красители, которые можно применять при проявлении пленок для отслеживания накопления TVB-N. Одним из примеров является пленка из смеси крахмала и поливинилового спирта, содержащая беталайны из питайи, которая способствует постепенному изменению цвета из-за увеличения уровня TVB-N по причине ухудшения качества креветок [15].

Эти исследования дают основания возможности использования значения TVB-N для определения свежести рыбы и морепродуктов, поскольку для этих соединений во многих странах уже установлены предельные уровни содержания. Следует отметить, что определение TVB-N не считается достаточно надежным, чтобы полностью подтверждать свежесть курицы, свинины, говядины и козьего / овечьего мяса [33]. Такой вывод можно сделать на основании несоответствия результатов различных исследований, позволяющих определить порог и четко отличить свежие образцы от испорченных. Поэтому научные разработки, направленные на анализ накопления TVB-N и подтверждением факта испорченности мяса является необходимым шагом для поддержки и продолжения

ОБЗОР РАЗРАБОТОК БИОРАЗЛАГАЕМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

дальнейших разработок биоразлагаемых интеллектуальных упаковочных систем с использованием индикаторов TVB-N.

Дальнейшие разработки в области использования биоразлагаемых пленок для мониторинга TVB-N можно также рассматривать для применения при ферментации пищевых продуктов, поскольку его ингибиование является ключевым элементом качества и безопасности [34, 35].

1.6. Индикаторы сероводорода

Мясо и мясные продукты подвержены микробной деградации, что приводит к образованию сероводорода (H_2S). Наличие сероводорода может быть связано с качеством и сроком годности мяса и мясных продуктов. В этом направлении авторы Zhai и др. [36] изготовили пленки на основе гуарановой камеди, содержащей наночастицы серебра (Ag), и установили, что пленки могут обнаруживать H_2S до предела 0,81 мкмоль. Реакция между Ag и H_2S привела к образованию Ag_2S , вызывающее видимое изменение цвета с желтого на бесцветный. В аналогичном исследовании эффективность этого индикатора наночастиц Ag была проверена на альгинатной пленке [37]. Присутствие H_2S после бактериального разложения приводило к значительному изменению цвета от прозрачного светло-серовато-белого до желтоватого через 5 мин и затем до непрозрачного темно-коричнево-черного цвета через 24 ч воздействия H_2S . В основном чувствительность биоразлагаемых интеллектуальных пленок была доказана в контролируемых условиях лаборатории. Хотя проведение контроля H_2S в упаковке пищевых продуктов дает необходимую информацию о сроке годности пищевых продуктов, за последнее десятилетие было опубликовано незначительное количество исследований по использованию биоразлагаемых материалов. Возможной причиной такой тенденции может быть существующая зависимость от H_2S -продуцирующих бактерий в процессе порчи пищевых продуктов [38].

2. Биоразлагаемая активная упаковка

Упаковки для пищевых продуктов могут быть изготовлены из активных материалов, которые непрерывно выделяют и/или поглощают газы, а также компоненты, которые продлевают срок годности пищевых продуктов. Активная упаковка подразделяется на мигрирующую и немигрирующую. В мигрирующей активной упаковке активные материалы часто высвобождаются из упаковки пищевых продуктов.

2.1. Антимикробные биоразлагаемые пленки

Пищевые продукты обычно подвержены биологическим изменениям, таким как ферментативное потемнение (плоды и ягоды) и окислительная прогорклость (жиро содержащие продукты). Неоднократно проводились исследования по использованию природных антиоксидантов в промышленных упаковочных материалах с целью сохранения качества и продления срока годности пищевых продуктов. Кроме того общеизвестно, что антиоксиданты оказывают благотворное влияние на организм в процессе употребления. Эти соединения обеспечивают устойчивость к окислительному стрессу, повреждению тканей и снижают риск развития различных заболеваний, таких как рак, желудочно-кишечные инфекции, гипертония и т. д. [39, 40, 41].

Также было доказано, что промышленные упаковочные материалы могут быть обогащены антимикробными агентами для замедления роста пищевых патогенов, таких как бактерии, дрожжи, плесень и т. д. [42, 43]. С этой целью проведено многочисленное количество исследований по применению в биоразлагаемых пленках и покрытиях растительных экстрактов, эфирных масел, органических кислот и других соединений.

2.1.1. Экстракты растений

Опубликованы исследования об использовании экстрактов растений (богатых полифенолами) в качестве противомикробных веществ в биоразлагаемых активных пленках. Фенольные соединения могут действовать как ионофоры и уменьшать значение pH через мембрану микроорганизмов, протонная движущая сила при этом уменьшается. В итоге это состояние препятствует усвоению питательных веществ и приводит к гибели бактериальных клеток [44]. Что касается применения натуральных экстрактов в активной упаковке, авторы Wu H и др. [45] использовали полифенолы из экстракта чая в различных концентрациях (5 %, 10 %, 15 % и 20 %) для разработки пленок с использованием порошка кожуры помело. Увеличение концентрации полифенолов чая улучшило антиоксидантный, а также антимикробный потенциал пленок в отношении кишечной палочки и золотистого стафилококка. Это исследование также показало, что пленка с экстрактом чая более эффективна против грамположительных бактерий (*S. aureus*). Аналогично другие авторы исследовали противомикробное и антиоксидантное действие экстракта хмеля (0 % и 0,15 % масс./масс. в пленкообразующем растворе) на

хитозановые и желатиновые пленки [46]. Помимо повышения антиоксидантной активности пленок, экстракт хмеля эффективно ингибировал рост грамположительных (*Bacillus subtilis* и *Listeria monocytogenes*) и грамотрицательных (*E. coli* и *Shigella sonnei*) бактерий. Однако больший эффект был выражен на грамположительных бактериях, по сравнению с грамотрицательными бактериями. Учеными Ja'skiewicz, Budrym, Nowak, Efenberger-Szmechtyk [46] было проанализировано antimикробное действие активных биоразлагаемых пленок в отношении грамотрицательных бактерий (*E. coli* и *Pseudomonas fluorescens*), грамположительных бактерий (*S. aureus* и *B. subtilis*) и грибы (*Candida albicans* и *Aspergillus niger*). *P. fluorescens* был наиболее чувствителен к экстракту цикория, тогда как *S. aureus* был менее чувствителен. Кроме того, дрожжи оказались более устойчивыми к antimикробным пленкам, содержащим экстракт цикория, чем протестированные бактерии.

Более устойчивый подход, принятый в последние годы, заключается в использовании экстрактов отходов растений для придания пленкам свойств поглощения свободных радикалов и улучшения их свойств. В данном направлении авторы Crizel и др. [47] исследовали антиоксидантный потенциал порошка кожуры папайи в виде макро- и микрочастиц, включённый в желатиновые пленки. Пленки, содержащие микрочастицы папайи, обладали более высокой антиоксидантной активностью по сравнению с пленками из микрочастиц папайи. Другие авторы изучали функциональные характеристики экстракта кожуры граната (10 г/л) в пленках карвакрола и хитозана. Установлено, что добавление экстракта кожуры увеличило содержание фенолов в пленках и показало высокую эффективность для ингибирования грамотрицательных (*E. coli*) и грамположительных (*S. aureus*) бактерий [48].

Ученые Ju и Song [49] использовали экстракт желтой луковой шелухи в фунаранных пленках, извлеченных из красных водорослей, и установили, что экстракт эффективно удаляет свободные радикалы. Аналогичным образом установлено, что включение экстракта кожуры манго эффективно увеличивает общее содержание фенолов и улучшает активность пленок на основе рыбьего желатина по удалению свободных радикалов [50].

2.1.2. Эфирные масла

Эфирные масла (ЭМ) представляют собой вторичные метаболиты, присутствующие в растениях. В настоящее время ЭМ исполь-

зуются для придания antimикробных и антиоксидантных свойств пищевым материалам. Противомикробное действие эфирных масел объясняется наличием нескольких соединений и их гидрофобной природой, что подтверждается результатами многих исследований [51, 52].

В качестве примера также можно привести исследование группы ученых Jamr'oz и др. [53], которые изучали влияние концентрации эфирных масел лаванды на свойства биоразлагаемых пленок крахмала, фурцелларана и желатина. Эти авторы сообщают об увеличении антиоксидантной активности и зоны ингибирования (при повышении концентрации) в отношении грамотрицательных (*E. coli*) и грамположительных (*S. aureus*) бактерий [53].

Авторы исследования Saricaoglu and Turhan [54] сравнили влияние эфирных масел тимьяна, гвоздики и розмарина (1,5 %) на белковые пленки курицы. Самая высокая антиоксидантная активность была получена от эфирного масла гвоздики, затем следуют эфирные масла тимьяна и розмарина. Авторы также изучали противомикробные свойства пленок, обогащенных эфирными маслами, в отношении *B. subtilis*, *S. aureus*, *E. coli* и *L. monocytogenes*. Эфирное масло гвоздики было наиболее эффективным против *B. subtilis*, *S. aureus* и *E. coli*, тогда как эфирное масло тимьяна лучше действовало против *L. monocytogenes*. Наименьшая antimикробная активность отмечена у эфирного масла розмарина. Исследование, проведенное учеными Lian, Shi, Zhang и Peng [55] с эфирным маслом тимьяна в активных пленках на основе хитозана, показало снижение скорости роста *E. coli*. Проводились также исследования по применению эфирных масел розмарина, косточек абрикоса, имбиря и ладанника в биоразлагаемых пленках. Полученные результаты свидетельствуют, что данные эфирные масла придают биоразлагаемым пленкам antimикробную активность [56–58].

2.1.3. Органические кислоты

Действие органических кислот вызывает снижение pH клеток и изменение проницаемости клеточной мембраны. Немало научных исследований посвящено изучению antimикробного потенциала лимонной, винной, яблочной и молочной кислот в пленках из соевого белка. Установлено, что яблочная кислота (2,6 %) наиболее эффективна против *Salmonella agaminara*, *L. monocytogenes* и *E. Coli O157:H7*, а лимонная кислота в поливиниловом спирте и пленках на основе крах-

ОБЗОР РАЗРАБОТОК БИОРАЗЛАГАЕМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

мала показала высокую ингибирующую активность в отношении патогенов пищевого происхождения *L. monocytogenes* и *E. coli* [59]. Аналогичные результаты были получены ученым El-Fawal [60] с лимонной кислотой в каррагинановой пленке против *S. aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*, *Dickeya chrysanthemi* и *E. coli*.

2.1.4. Металлические наночастицы

Некоторые металлические наночастицы используются в биоразлагаемых активных упаковках в качестве поглотителей этилена, защиты от УФ-излучения и, что наиболее важно, в качестве антимикробных агентов [61]. В литературных источниках содержатся сведения о наночастицах оксида цинка, TiO_2 , меди и серебра, которые оказывали эффективное действие против *P. aeruginosa*, *Pseudomonas spp.*, *B. subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Cryptococcus* и *Candida* [62, 63, 64]. Вместе с тем применение металлических наночастиц требует дополнительных исследований для выяснения цитотоксичности и генотоксичности этих новых материалов и определения возможности и целесообразности использования, а также безопасных пределов для включения в съедобные упаковки [65].

2.2. Кинетика высвобождения активных веществ

Эффективность активной упаковки зависит от их полного и своевременного высвобождения из системы упаковки. По сути, быстрое высвобождение может сократить срок годности пленок, тогда как медленное высвобождение может снизить эффективность пленок для хранения пищевых продуктов, поэтому важно охарактеризовать кинетику высвобождения активных пленок. Это свойство зависит от многих факторов, включая свойства биополимера, тип и концентрацию пластификаторов, тип поверхностно-активных веществ, используемых для формирования пленки, характеристики активного соединения и его концентрацию, а также тип пищевого симулятора. Касаемо биоразлагаемых упаковочных материалов были изучены некоторые ключевые аспекты для улучшения контроля за высвобождением активных соединений, которые включают модификацию состава пленки (например, биополимеры, пластификатор и поверхностно-активное вещество), активных соединений (наноинкапсулирование) и взаимодействие с пищевым симулятором [66].

В этой связи зарубежными учеными изу-

чились высвобождение общих фенолов из агар-зеленого чая (АГ) и агар-желатин-активные пленки на основе экстракта зеленого чая (АГЖ) в воде через 15 мин, 90 мин и 16 ч. Через 15 мин обе пленки выделяли одинаковое количество полифенолов (50 мг галловой кислоты/г пленки), но в интервале 15–90 мин выделение увеличивалось в 1,5 раза до 80 мг галловой кислоты/г пленки в пленках АГ. Однако высвобождение фенольных соединений немного увеличилось примерно до 84 мг галловой кислоты/г пленки через 90 мин. Наоборот, включение желатина в пленку (АГЖ) уменьшало высвобождение фенольных соединений (отсутствие значительного высвобождения в течение 15–90-минутного интервала), а накопленное высвобождение полифенолов достигало 60 мг галловой кислоты/г пленки через 16 часов [67].

Ученым Caro в соавторстве с другим [68] проведены исследования по изучению кинетики высвобождения наночастиц хитозан-триполифосфат-тимола (ТТИ) из пленок хитозана, а также из белков хитозан/квина в воде. Различные тенденции диффузии наблюдались в течение 8 дней, при этом высвобождение ТТИ из пленки хитозана было более быстрым, чем из пленки хитозан/белок квина в первый и четвертый день испытаний. После четвертого дня обе пленки показали более медленное высвобождение ТТИ до конца тестирования (8-й день). По мнению авторов, эта разница в начале срока хранения может быть связана с расположением наночастиц на поверхности пленки хитозана (более подверженной воздействию воды), тогда как интранализация наночастиц происходит в пленке белка хитозан/хиноа, где воздействие воды уменьшилось.

Время высвобождения натамицина (бактериоцина) из альгинатно-пектиновых пленок в воде изучали авторы Bierhalz, Da Silva и Kieckbusch. Время высвобождения натамицина улучшилось с 30 ч (пектиновые пленки) до 70 ч в альгинатно-пектиновых пленках и до 800 ч в альгинатных пленках, что свидетельствует о высокой совместимости натамицина с альгинатом [69].

Пластификатор является еще одним ключевым фактором, который может повлиять на высвобождение активных соединений из биоразлагаемых упаковочных материалов. Это подтверждается экспериментом, проведенным учеными Arrieta и др. [70], которые изучали влияние ацетил (трибутилцитрата), пластификатора на скорость высвобождения активных пленок из полимолочной кислоты (PLA) и поли(гидроксибутирата) (РВН) на ос-

нове катехина в течение 1, 5, 10 и 20 дней хранения. Эти авторы наблюдали, что ацетил(трибутилцитрат) в качестве пластификатора в матрицах ПЛА-ПГБ увеличивал коэффициент диффузии примерно в 3 раза (при мерно с 0,02 до 0,25) после 10 дней хранения по сравнению с пленками без пластификаторов. Более того, обе активные пленки были одинаково эффективны для антирадикального и антимикробного действия.

Другим методом контроля высвобождения активных соединений считается использование поверхностно-активных веществ, которые имеют различные уровни гидрофильности. В этом контексте ученые попытались контролировать кинетику высвобождения аскорбиновой кислоты (АК), путем добавления различных поверхностно-активных веществ (Span 80 и Tween 20 с гидрофильно-липофильным балансом 4,3 (гидрофобный) и 16,7 (гидрофильный) соответственно, в активных пленках на основе крахмала кудзу (KS). Добавление Span 80 в качестве поверхностно-активного вещества снижает коэффициент диффузии пленок в воде с $2,22 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ (для контрольных пленок) до $0,97 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$, кроме того, эффективность Tween 20 была менее значительной по причине его гидрофильной природы [71].

Анализ характеристик различных имитаторов пищевых продуктов является еще одним из ключевых аспектов для оценки миграции активных соединений. В данном контексте необходимо отметить работу ученых Requena, Vargas и Chiralt [71], которые изучили кинетику высвобождения эвгенола (Eg) и карвакрола (Cv) (13 %) в антимикробных пленках на основе поли(гидроксибутират-со-гидроксивалерата). В своем исследовании авторы использовали несколько модельных систем для имитации различных пищевых сред (A = 10 % этанола (об./об.), B = 3 % уксусной кислоты (вес./об.), C = 50 % этанола (об./об.) и D = изооктан), (водный раствор, кислый водный раствор, спиртовой и в виде эмульсии масла в воде) для оценки характеристик высвобождения биоактивных агентов при 20°C . На скорость высвобождения обоих активных соединений влияла имитирующая композиция, в которой наибольшая скорость наблюдалась в растворе C (7,2 и $19,0 \text{ мкг/с}$ для Cv и Eg соответственно), тогда как наименьшая скорость была получена при использовании раствора D (0,15 и 0,30 для Cv и Eg соответственно). Аналогичное исследование, характеризующее связь между добавлением морских водорослей в пленки из полимолочной кислоты и высвобождением сорби-

новой кислоты в пищевых стимуляторах, содержащих 10 или 95 % об./об. этанола, проводили авторы Rodríguez-Martínez и др. [72]. Самые высокие скорости диффузии были установлены в пищевом имитаторе, содержащем 95 % этанола, для пленок, изготовленных с использованием морских водорослей и без них, – $(2,8 \times 10^{-10}$ и $1,4 \times 10^{-10} \text{ см}^2/\text{с}$ соответственно). Влияние морских водорослей на диффузию сорбиновой кислоты в основном наблюдалось при нанесении пленок на пищевой имитатор с 10 % этанолом, при этом диффузия улучшалась от $1,5 \times 10^{-13}$ (без водорослей) до $2,2 \times 10^{-11}$ (с водорослями) $\text{см}^2/\text{с}$. Полученные результаты исследования дают основания предполагать наличие возможности контролировать высвобождение активных соединений в биоразлагаемых упаковочных материалах. Следует также отметить, что необходимо учитывать взаимодействие между пленкой и активными соединениями, чтобы высвобождение было постепенным, а не быстрым. Дальнейшие эксперименты по исследованию биоразлагаемой активной упаковки могут быть направлены на разработку методологий с имитаторами, способных повторять характеристики пищевых продуктов, в особенности твердых пищевых продуктов. Известно, что на скорость диффузии активных соединений влияют свойства пищевых продуктов, и результаты показывают, что в одном растворе можно получить более высокие скорости диффузии, чем в твердых пищевых продуктах, таких как сыр [73, 74].

3. Биоразлагаемая смарт-упаковка

«Умная упаковка» – это новая концепция биоразлагаемых упаковочных систем, которая предполагает использование как интеллектуальных, так и соответственно активных веществ для контроля и поддержания / улучшения качества упакованного продукта. Прогнозируется, что объем стоимости производства электронной смарт-упаковки в следующем десятилетии превысит 1,45 миллиарда долларов [75, 76]. Ученые активно работают над заменой части электронных умных упаковочных систем на биоразлагаемые вещества. Несколько активных и интеллектуальных упаковочных материалов на биологической основе были успешно разработаны и использованы для прямого и непрямого применения в пищевых продуктах. Так, например, группа ученых Янчикова и соавторы [3] исследовали активное и интеллектуальное действие экстракта розмарина (5 %, 10 % и 20 %) в пленках на основе фурцепларана и гидролизата

ОБЗОР РАЗРАБОТОК БИОРАЗЛАГАЕМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

желатина, а также в пленках, чувствительных к pH (изменение цвета с желтого на красный при pH 9 и 12 соответственно). Авторы заметили, что экстракт свежих листьев не улучшал антиоксидантную активность фурцелларановых пленок, но обработка высоким содержанием экстракта сухих листьев (20 %) успешно ингибировала 88 % радикала DPPH. На основании полученных результатов эти авторы рекомендовали пленки, содержащие 20 % сухого экстракта розмарина для производства умной упаковки.

Следует также отметить недавно проводимые исследования ученых, которые показали, что pH-чувствительные пленки на основе фурцелларана / желатина, содержащие экстракт зеленого чая, обладают высокой антиоксидантной активностью и одинаково эффективны против *E. coli* и *S. Aureus* [6, 15]. В ходе исследований для получения смарт-пленки использовали беталяины из экстракта кожуры красной питайи (0, 0,25, 0,50 и 1,00 мас.%) в водном растворе крахмала (6,8 г) и поливинилового спирта (3,4 г). Помимо чувствительности к pH, пленки с высоким содержанием бетацианина (1 %) показали активность DPPH около 35 %, при этом ингибировали рост *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *E. coli* и *Salmonella*. Для дальнейшего улучшения биоактивных свойств смарт-пленок в суспензии целлюлозных нановолокон (ЦН) (60 мл 0,8 % ЦН в деионизированной воде) использовали комбинацию антоцианина (0,4 г) и эфирного масла орегано (4 %). Результаты данного исследования показали, что пленки эфирного масла орегано оказались эффективными против грамположительных и грамотрицательных бактерий (*E. coli* и *L. monocytogenes*), а степень их ингибирования составила около 99,99 %. Аналогичным образом антоцианы из экстракта пурпурного картофеля, краснокочанной капусты и ягод жимолости по отдельности придавали биоразлагаемым пленкам умные свойства. Эти исследования подтверждают прогресс в разработке «умных» биоразлагаемых пленок с использованием натуральных соединений. Однако все же еще необходимо проводить дополнительные дальнейшие исследования и особенно в отношении оценки этих пленок в течение всего срока годности пищевых продуктов [4, 18, 12].

4. Биоразлагаемость смарт-пленок

Термин «биоразлагаемый» используется для материалов, способных разрушаться в результате действия микроорганизмов. Согласно

определению Международной организации по стандартизации (ISO), любое вещество считается биоразлагаемым, если его исходная масса уменьшается на 90 % через шесть месяцев в условиях компоста при 58 °C [77, 78, 79].

Незначительное количество исследований выявило биоразлагаемость смарт-пленок на биологической основе. Согласно полученным результатам, смарт-пленки содержат биоактивные и антимикробные агенты для предотвращения микробной активности на пищевом продукте, что также может продлить срок годности упаковочных материалов. Ожидалось, что добавление противомикробных препаратов может препятствовать разложению смарт-пленок микроорганизмами. Однако недавно проведенное исследование, по изучению антимикробных свойств и характеристик биоразлагаемости пектиновых пленок, содержащих кожуру желтой маракуйи, показало обратное, результат был положительным [80]. Биоразлагаемость пектиновых пленок оценивали путем воздействия на них *Bradyrhizobium diazoefficiens*. Авторы научного эксперимента сообщили, что *B. diazoefficiens* повышал pH среды, и пленки полностью разрушались после 20 дней компостирования в аэробных условиях. Эти результаты подтвердили, что противомикробные пленки разлагались микроорганизмами, связанными с компостированием овощей. Кроме того, эта пленка также продемонстрировала превосходные антимикробные свойства в отношении *E. Coli* и *S. aureus* в кислых условиях [84].

Растворимость в воде и молекулярная масса являются ключевыми факторами, влияющими на биоразлагаемость пленок. С целью изучения влияния данных факторов ученые Ceballos, Ochoa-Yepes, Goyanes, Bernal и Fama изучили характеристики биоразлагаемости умных пленок, разработанных из модифицированного крахмала, содержащего мате [81, 82, 83].

В обоих исследованиях установлено, что при замене крахмала с высокой молекулярной массой экстрактом с низкой молекулярной массой скорость биодеградации увеличивалась. По мере того, как микроорганизмы разлагают крахмал на небольшие единицы сахара (например, глюкозу), этот процесс занимает меньше времени в низкомолекулярных соединениях и вызывает более быструю биоразлагаемость. Следовательно, добавление экстракта мате в пленки приводило к быстрой биодеградации. Кроме того, более высокая растворимость пленок в воде из-за добавления экстракта мате могла вызывать набухание пленок и их быстрое разрушение.

В нескольких других исследованиях сообщалось об улучшении биоразлагаемости за счет включения биологически активных соединений, например, сливовая мука в модифицированной тыквенной муке, крахмальные пленки, обогащенные чечевичной мукой, экстракт маракуйи в пленках из кукурузного крахмала и т. д. [80].

ВЫВОДЫ

Дальнейший непрерывный процесс разработки интеллектуальных, активных и умных пленок с использованием биоразлагаемых материалов является необходимым этапом и эффективным методом снижения воздействия упаковки пищевых продуктов на окружающую среду. Обзор опубликованных результатов научных исследований подтверждает возможность функционального сочетания биоразлагаемых материалов, в особенности хитозана, хитина, каррагинана и альгината, с основными технологическими процессами. Неоднократно доказано, что природные соединения играют главную роль в процессе замедления окислительных процессов в продуктах питания, предотвращают рост микробов, вызывающих порчу и указывают на ухудшение качества упакованного продукта. Фенольные соединения, главная роль в которых принадлежит антоцианам, отличаются от всех других природных соединений своей чувствительностью к изменению pH в пищевых продуктах и упаковочном материале, а также антиоксидантной и противомикробной активностью. Учитывая роль полифенолов и воздействие на окружающую среду, связанное с упаковкой пищевых продуктов, проведение дальнейших научных исследований необходимо интенсивно вести в направлении усиления экологического аспекта биоразлагаемых интеллектуальных, активных и умных пленок. С этой целью необходимо особое внимание уделять использованию натуральных красителей, таких как антоцианы и другие экстракты, богатые полифенолами, извлечению их из побочных продуктов переработки агропромышленного производства.

Процесс улучшения контроля кинетики высвобождения остается одной из наиболее важных задач, по причине взаимодействия между упаковочным материалом и активными соединениями для обеспечения непрерывного высвобождения в течение всего срока годности упакованных пищевых продуктов. Полученные результаты исследований свидетельствуют о достижении лучшей кинетики высвобождения путем внесения изменений в

любой состав пленки активных соединений. С этой целью необходимо продолжать научные исследования и эксперименты для получения доказательной информации о взаимосвязи между высвобождением активных соединений, защищая от окислительных реакций и микробного роста в пищевых продуктах. Можно сделать вывод, что включение природных соединений, в основном с экстрактами, богатыми полифенолами, оказывает благоприятное влияние на компостируемость биоразлагаемых интеллектуальных, активных и интеллектуальных пленок и сокращает их время разложения.

Следует отметить, что кроме полифенолов, эфирных масел и беталаинов, на момент написания данного научного обзора нам не удалось установить наличие опубликованных научных исследований, которые касались бы других природных источников, потенциально используемых в различных видах пленок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Yates, J., Deeney, M., Rolker, H. B., White, H., Kalamanianou, S. & Kadiyala, S. (2021). A systematic scoping review of environmental, food security and health impacts of food system plastics. *Nature Food.* 2(2). 80-87. <https://doi.org/10.1038/s43016021-00221-z>.
2. Eurostat. (2020). Packaging waste statistics - Statistics Explained. Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat/statistics_explained/index.php/Packaging_waste_statistics.
3. Jancikova, S., Jamr'oz, E., Kulawik, P., Tkaczewska, J. & Dordevic, D. (2019). Furcellaran/gelatin hydrolysate/rosemary extract composite films as active and intelligent packaging materials. *International Journal of Biological Macromolecules.* (131). 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.050>.
4. Chen, S., Wu, M., Lu, P., Gao, L., Yan, S. & Wang, S. (2020). Development of pH indicator and antimicrobial cellulose nanofibre packaging film based on purple sweet potato anthocyanin and oregano essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules.* (149). 271-280. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.231>.
5. Li, Y., Ying, Y., Zhou, Y., Ge, Y., Yuan, C., Wu, C., et al. (2019). A pH-indicating intelligent packaging composed of chitosan-purple potato extractions strength by surface-deacetylated chitin nanofibers. *International Journal of Biological Macromolecules.* (127). 376-384. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.060>.
6. Jamr'oz, E., Kulawik, P., Krzy'sciak, P., Talaga-Cwiertrnia, K. & Juszczak, L. (2019). Intelligent and active furcellaran-gelatin films containing green or pu-erh tea extracts: Characterization, antioxidant and antimicrobial potential. *International Journal of Biological Macromolecules.* (122). 745-757. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.008>.
7. Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y. & Xiao, H. (2020). Biodegradable polymers and greenbased antimicrobial packaging materials: a mini-review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research.* 3(1). 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.aierp.2019.11.002>.
8. Latos-Brožio, M. & Masek, A. (2020). The application of natural food colorants as indicator substances in intelligent biodegradable packaging materials. *Food and Chemical Toxicology.* (135). Article 110975. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110975>.
9. Chen, X., Chen, M., Xu, C. & Yam, K.L. (2019). Critical review of controlled release packaging to improve food safety and quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 59(15). 2386-2399. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1453778>.

ОБЗОР РАЗРАБОТОК БИОРАЗЛАГАЕМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

10. Jafarzadeh, S., Jafari, S.M., Salehabadi, A., Nafchi, A.M. & Uthaya Kumar, U.S. (2020). Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their byproducts. *Trends in Food Science and Technology.* 100. 262-277. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.017>.
11. Haghghi, H., Licciardello, F., Fava, P., Siesler, H.W. & Pulviretti, A. (2020). Recent advances on chitosan-based films for sustainable food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life.* (26). Article 100551. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100551>.
12. Liu, J., Yong, H., Liu, Y., Qin, Y., Kan, J. & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of active and intelligent films based on fish gelatin and haskap berries (*Lonicera caerulea* L.) extract. *Food Packaging and Shelf Life.* (22). 100417. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2019.100417>.
13. Wu, C., Li, Y., Sun, J., Lu, Y., Tong, C. & Wang, L. (2020). Novel konjacglucomannan films with oxidized chitin nanocrystals immobilized red cabbage anthocyanins for intelligent food packaging. *Food Hydrocolloids.* (98). 105245. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105245>.
14. Ezati, P. & Rhim, J.W. (2020). pH-responsive chitosan-based film incorporated with alizarin for intelligent packaging applications. *Food Hydrocolloids.* (102). Article 105629. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105629>.
15. Qin, Y., Liu, Y., Zhang, X. & Liu, J. (2020). Development of active and intelligent packaging by incorporating betalains from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel into starch/polyvinyl alcohol films. *Food Hydrocolloids.* (100). 105410. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105410>.
16. Ding, L., Li, X., Hu, L., Zhang, Y., Jiang, Y. & Mao, Z. (2020). A naked-eye detection polyvinyl alcohol/cellulose-based pH sensor for intelligent packaging. *Carbohydrate Polymers.* (233). Article 115859. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115859>.
17. Kimbuathong, N., Leelaphiwat, P. & Harnkamsujarit, N. (2020). Inhibition of melanosis and microbial growth in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using high CO₂ modified atmosphere packaging. *Food Chemistry.* (312). Article 126114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126114>.
18. Saliu, F. & Pergola, R.D. (2018). Carbon dioxide colorimetric indicators for food packaging application: Applicability of anthocyanin and poly-lysine mixtures. *Sensors and Actuators B: Chemical.* (258). 1117-1124. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.12.007>.
19. Lyu, J.S., Choi, I., Hwang, K.S., Lee, J.Y., Seo, J., Kim, S.Y., et al. (2019). Development of a BTB- /TBA + ion-paired dye-based CO₂ indicator and its application in a multilayered intelligent packaging system. *Sensors and Actuators, B: Chemical.* (282). 359-365. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.11.073>.
20. Wan, X., He, Q., Wang, X., Liu, M., Lin, S. & Shi, R. (2021). Water-soluble chitosanbased indicator label membrane and its response behavior to carbon dioxide. *Food Control.* (130). Article 108355. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108355>.
21. Liu, Y., Zhang, X., Li, C., Qin, Y., Xiao, L. & Liu, J. (2020). Comparison of the structural, physical and functional properties of κ-carrageenan films incorporated with pomegranate flesh and peel extracts. *International Journal of Biological Macromolecules.* (147). 1076-1088. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.075>.
22. Jung, J., Puligundla, P. & Ko, S. (2012). Proof-of-concept study of chitosan-based carbon dioxide indicator for food packaging applications. *Food Chemistry.* 135(4). 2170-2174. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.090>.
23. Maciel, V.B.V., Yoshida, C.M.P. & Franco, T.T. (2012). Development of a prototype of a colourimetric temperature indicator for monitoring food quality. *Journal of Food Engineering.* 111(1). 21-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.037>.
24. Maciel, V.B.V., Yoshida, C.M.P. & Franco, T.T. (2014). Development of temperature indicator prototype: Cardpaper coated with chitosan intelligent films. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment.* 3(01). 5-10. <https://doi.org/10.4236/jacen.2014.31b002>.
25. Pereira, V.A., de Arruda, I.N.Q. & Stefani, R. (2015). Active chitosan/PVA films with anthocyanins from *Brassica oleracea* (Red Cabbage) as Time-Temperature Indicators for application in intelligent food packaging. *Food Hydrocolloids.* (43). 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.014>.
26. Mills, A., Tommons, C., Bailey, R.T., Tedford, M.C. & Crilly, P.J. (2008). UV-activated luminescence/colourimetric O₂ indicator. *International Journal of Photoenergy.* <https://doi.org/10.1155/2008/547301>.
27. Deshwal, G.K., Panjagari, N.R., Badola, R., Singh, A.K., Minz, P.S. & Ganguly, S. (2018). Characterization of biopolymer-based UV-activated intelligent oxygen indicator for food-packaging applications. *Journal of Packaging Technology and Research.* 2(1). 29-43. <https://doi.org/10.1007/s41783-018-0029-2>.
28. Vu, C.H.T. & Won, K. (2013). Novel water-resistant UV-activated oxygen indicator for intelligent food packaging. *Food Chemistry.* 140 (1-2). 52-56. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.056>.
29. Wells, N., Yusufi, D. & Mills, A. (2019). Colourimetric plastic film indicator for the detection of the volatile basic nitrogen compounds associated with fish spoilage. *Talanta.* 194. 830-836. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.11.020>.
30. Ma, Q., Du, L. & Wang, L. (2017). Tara gum/polyvinyl alcohol-based colorimetric NH₃indicator films incorporating curcumin for intelligent packaging. *Sensors and Actuators B: Chemical.* (244). 759-766. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.01.035>.
31. Liang, T., Sun, G., Cao, L., Li, J. & Wang, L.A. (2019). pH and NH₃ sensing intelligent film based on *Artemisia sphaerophylla* Krasch. gum and red cabbage anthocyanins anchored by carboxymethyl cellulose sodium added as a host complex. *Food Hydrocolloids.* (87). 858-868. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.028>.
32. Wu, C., Sun, J., Zheng, P., Kang, X., Chen, M., Li, Y. (2019). Preparation of an intelligent film based on chitosan/oxidized chitin nanocrystals incorporating black rice bran anthocyanins for seafood spoilage monitoring. *Carbohydrate Polymers.* (222). 115006. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115006>.
33. Bekhit, A.E.D.A., Holman, B.W.B., Giteru, S.G., & Hopkins, D.L. (2021). Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review. *Trends in Food Science and Technology.* (109). 280-302. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.006>.
34. Yang, Z., Wu, R., Wei, X., Zhang, Z., Wang, W. & Liu, A. (2021). Moderate fermentation contributes to the formation of typical aroma and good organoleptic properties: A study based on different brands of Chouguiyu. *LWT - Food Science and Technology.* (152). Article 112325. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112325>.
35. Yang, B., Tan, Y. & Kan, J. (2020). Regulation of quality and biogenic amine production during sufu fermentation by pure *Mucor* strains. *LWT - Food Science and Technology.* (117). Article 108637. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108637>.
36. Zhai, X., Li, Z., Shi, J., Huang, X., Sun, Z., Zhang, D., et al. (2019). A colorimetric hydrogen sulfide sensor based on gellan gum-silver nanoparticles bionanocomposite for monitoring of meat spoilage in intelligent packaging. *Food Chemistry.* (290). 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.138>.
37. Sukhavattanakul, P. & Manuspiya, H. (2020). Fabrication of hybrid thin film based on bacterial cellulose nanocrystals and metal nanoparticles with hydrogen sulfide gas sensor ability. *Carbohydrate Polymers.* (230). Article 115566. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115566>.
38. Koskela, J., Sarfraz, J., Ihälainen, P., Määtänen, A., Pulkkinen, P., Tenhun, H., et al. (2015). Monitoring the quality of raw poultry by detecting hydrogen sulfide with printed sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical.* (218). 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.04.093>.
39. Domínguez, R., Barba, F.J., Gómez, B., Putnik, P., Kováčević, D.B., Pateiro, M., et al. (2018). Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Food Research International.* (113). 93-101.

- [https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073.](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073)
40. Pateiro, M., Barba, F.J., Domínguez, R., Sant'Ana, A.S., Mousavi Khaneghah, A., Gavahian, M., et al. (2018). Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: A review. *Food Research International*. (113). 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.014>.
41. Jiang, J. & Xiong, Y.L. (2016). Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Science*. (120). 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.005>.
42. Lorenzo, J. M., Batlle, R. & Gómez, M. (2014). Extension of the shelf-life of foal meat with two antioxidant active packaging systems. *LWT - Food Science and Technology*. 59(1). 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.061>.
43. Pateiro, M., Domínguez, R., Bermúdez, R., Munekata, P.E.S., Zhang, W., Gagoua, M., et al. (2019). Antioxidant active packaging systems to extend the shelf life of sliced cooked ham. *Current Research in Food Science*. (1). 24-30. <https://doi.org/10.1016/j.crcs.2019.10.002>.
44. Xu, D., Chen, T. & Liu, Y. (2021). The physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of chitosan-gelatin edible films incorporated with the extract from hop plant. *Polymer Bulletin*. 78(7). 3607-3624. <https://doi.org/10.1007/s00289-02003294-1>.
45. Wu, H., Lei, Y., Zhu, R., Zhao, M., Lu, J., Xiao, D., et al. (2019). Preparation and characterization of bioactive edible packaging films based on pomelo peel flours incorporating tea polyphenol. *Food Hydrocolloids*. (90). 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.016>.
46. Jaśkiewicz, A., Budry, G., Nowak, A. & Efenberger-Szmechtyk, M. (2020). Novel biodegradable starch film for food packaging with antimicrobial chicory root extract Amin et al. *Food Packaging and Shelf Life* 33 (2022) 100903 and phytic acid as a cross-linking agent. *Foods*. 9(11). 1696. <https://doi.org/10.3390/foods9111696>.
47. Crizel, T., de, M., Rios, A., de, O., Alves, V.D., Bandarra, N., Hickmann Fiores, S. (2018). Biodegradable films based on gelatin and papaya peel microparticles with antioxidant properties. *Food and Bioprocess Technology*. 11(3). 536-550. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2030-0>.
48. Yuan, G., Lv, H., Yang, B., Chen, X. & Sun, H. (2015). Physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of chitosan films containing carvacrol and pomegranate peel extract. *Molecules*. 20(6). 11034-11045. <https://doi.org/10.3390/molecules.200611034>.
49. Ju, A. & Song, K.B. (2020). Incorporation of yellow onion peel extract into the funoranbased biodegradable films as an antioxidant packaging material. *International Journal of Food Science and Technology*. 55(4). 1671-1678. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14436>.
50. Adilah, A.N., Jamilah, B., Noranizan, M.A. & Hanani, Z.A.N. (2018). Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. (16). 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.006>.
51. Pateiro, M., Munekata, P.E.S., Sant'Ana, A.S., Domínguez, R., Rodríguez-L'azaro, D. & Lorenzo, J.M. (2021). Application of essential oils as antimicrobial agents against spoilage and pathogenic microorganisms in meat products. *International Journal of Food Microbiology*. (337). Article 108966. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108966>.
52. Umaraw, P., Munekata, P.E.S., Verma, A.K., Barba, F.J., Singh, V.P. & Kumar, P. (2020). Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. *Trends in Food Science and Technology*. (98). 10-24. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.032>.
53. Jamroz, E., Juszczak, L. & Kucharek, M. (2018). Investigation of the physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of ternary potato starch-furcellaran-gelatin films incorporated with lavender essential oil. *International Journal of Biologica. Macromolecules*. (114). 1094-1101. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.014>.
54. Saricaoglu, F.T. & Turhan, S. (2020). Physicochemical, antioxidant and antimicrobial properties of mechanically deboned chicken meat protein films enriched with various essential oils. *Food Packaging and Shelf Life*. (25). 100527. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100527>.
55. Lian, H., Shi, J., Zhang, X. & Peng, Y. (2020). Effect of the added polysaccharide on the release of thyme essential oil and structure properties of chitosan based film. *Food Packaging and Shelf Life*. (23). Article 100467. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100467>.
56. Priyadarshi, R., Sauraj, Kumar, B., Deeba, F., Kulshreshtha, A. & Negi, Y.S. (2018). Chitosan films incorporated with Apricot (*Prunusarmeniaca*) kernel essential oil as active food packaging material. *Food Hydrocolloids*. 85. 158-166. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.003>.
57. Luís, A., Ramos, A. & Domingues, F. (2020). Pullulan films containing rockrose essential oil for potential food packaging applications. *Antibiotics*. 9(10). 1-20. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9100681>.
58. Moghimi, R., Aliahmadi, A. & Rafati, H. (2017). Antibacterial hydroxypropylmethyl cellulose edible films containing nanoemulsions of *Thymus daenensis* essential oil for food packaging. *Carbohydrate Polymers*. (175). 241-248. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.086>.
59. Wu, Z., Wu, J., Peng, T., Li, Y., Lin, D. & Xing, B. (2017). Preparation and application of starch/polyvinyl alcohol/citric acid ternary blend antimicrobial functional food packaging films. *Polymers*. 9(3). 102. <https://doi.org/10.3390/polym9030102>.
60. El-Fawal, G. (2014). Preparation, characterization and antibacterial activity of biodegradable films prepared from carrageenan. *Journal of Food Science and Technology*. 51(9). 2234-2239. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1255-9>.
61. Kumar, S., Mudai, A., Roy, B., Basumatary, I.B., Mukherjee, A. & Dutta, J. (2020). Biodegradable hybrid nanocomposite of chitosan/gelatin and green synthesized zinc oxide nanoparticles for food packaging. *Foods*. 9(9). 1143. <https://doi.org/10.3390/foods9091143>.
62. Abutalib, M.M. & Rajeh, A. (2020). Preparation and characterization of polyaniline/ sodium alginate-doped TiO_2 nanoparticles with promising mechanical and electrical properties and antimicrobial activity for food packaging applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 31(12). 9430-9442. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-03483-8>.
63. Chougule, S.S., Gurme, S.T., Jadhav, J.P., Dongale, T.D. & Tiwari, A.P. (2021). Low density polyethylene films incorporated with biosynthesised silver nanoparticles using *Moringaoleifera* plant extract for antimicrobial, food packaging, and photocatalytic degradation applications. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 30(1). 208-214. <https://doi.org/10.1007/s13562-020-00584-7>.
64. Saravananakumar, K., Sathiyaeselvan, A., Mariadoss, A.V.A., Xiaowen, H. & Wang, M. (2020). Physical and bioactivities of biopolymeric films incorporated with cellulose, sodium alginate and copper oxide nanoparticles for food packaging application. *International Journal of Biological Macromolecules*. (153). 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.250>.
65. Mărăchidanu, C.-A., Lungu, M.-V., Gheorghe, I., Husien, M.D., Telcian, A., Pircălăbioru, G.G. (2017). Cytotoxicity and genotoxicity aspects of ZnO and silver nanoparticles designed for antimicrobial applications. *Romanian Archives*. 76(2). 91-101.
66. Almasi, H., Oskouie, M.J. & Saleh, A. (2021). A review on techniques utilized for design of controlled release food active packaging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 61(15). 2601-2621. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1783199>.
67. Gim'enez, B., L'opez de Lacey, A., P'erez-Santín, E., L'opez-Caballero, M.E. & Montero, P. (2013). Release of active compounds from agar and agar-gelatin films with green tea extract. *Food Hydrocolloids*. 30(1). 264-271. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.014>.
68. Caro, N., Medina, E., Díaz-Dosque, M., L'opez, L., Abugoch, L. & Tapia, C. (2016). Novel active packaging based on films of chitosan and chitosan/quinua protein printed with chitosan-tripolyphosphate-thymol nanoparticles via thermal ink-jet printing.

ОБЗОР РАЗРАБОТОК БИОРАЗЛАГАЕМЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- Food Hydrocolloids. (52). 520-532. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.028>.
69. Bierhalz, A.C.K., Da Silva, M.A. & Kieckbusch, T.G. (2012). Natamycin release from alginate/pectin films for food packaging applications. *Journal of Food Engineering*. 110(1). 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.016>.
70. Arrieta, M.P., Castro-López, M.D.M., Rayón, E., Barral-Losada, L.F., López-Vilariño, J.M., López, J., et al. (2014). Plasticized poly(lactic acid)-poly (hydroxybutyrate) (PLA-PHB) blends incorporated with catechin intended for active food-packaging applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62(41). 10170-10180. <https://doi.org/10.1021/jf5029812>.
71. Requena, R., Vargas, M. & Chiralt, A. (2017). Release kinetics of carvacrol and eugenol from poly (hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) (PHBV) films for food packaging applications. *European Polymer Journal*. (92). 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.05.00812>.
72. Rodríguez-Martínez, A.V., Sendón, R., Abad, M.J., González-Rodríguez, M.V., Barros Velázquez, J., Aubourg, S.P., et al. (2016). Migration kinetics of sorbic acid from poly(lactic acid) and seaweed based films into food simulants. *LWT - Food Science and Technology*. (65). 630-636. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.029>.
73. Fajardo, P., Martins, J.T., Fucinos, C., Pastrana, L., Teixeira, J.A. & Vicente, A.A. (2010). Evaluation of a chitosan-based edible film as carrier of natamycin to improve the storability of Saloio cheese. *Journal of Food Engineering*. 101(4). 349-356. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.06.029>.
74. Wu, S., Wang, W., Yan, K., Ding, F., Shi, X., Deng, H., et al. (2018). Electrochemical writing on edible polysaccharide films for intelligent food packaging. *Carbohydrate Polymers*. (186). 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.058>.
75. Ezati, P. & Rhim, J.W. (2020). pH-responsive chitosan-based film incorporated with alizarin for intelligent packaging applications. *Food Hydrocolloids*. (102). Article 105629. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105629>.
76. Schaefer, D. & Cheung, W.M. (2018). Smart packaging: Opportunities and challenges. *Procedia CIRP*. 72. 1022-1027. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.240>.
77. Liu, J., Yong, H., Liu, Y., Qin, Y., Kan, J. & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of active and intelligent films based on fish gelatin and haskap berries (*Lonicera caerulea* L.) extract. *Food Packaging and Shelf Life*. (22). 100417. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2019.100417>.
78. Pepper, I.L., Gerba, C.P., Gentry, T.J. & Maier, R.M. In I. Pepper, C. Gerba, T. Gentry & R. Maier (Eds.). (2011). *Environmental Microbiology* (second ed.) Burlington: Academic Press.
79. Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions. (2012). Method by analysis of evolved carbon dioxide. Part 1: General method. *ISO 14855-1:2012*.
80. Munhoz, D.R., Moreira, F.K.V., Bresolin, J.D., Bernardo, M.P., De Sousa, C.P. & Mattoso, L.H.C. (2018). Sustainable Production and *in vitro* Biodegradability of Edible Films from Yellow Passion Fruit Coproducts via Continuous Casting. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 6(8). 9883-9892. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b01101>.
81. Ceballos, R.L., Ochoa-Yepes, O., Goyanes, S., Bernal, C. & Fam'a, L. (2020). Effect of yerba mate extract on the performance of starch films obtained by extrusion and compression molding as active and smart packaging. *Carbohydrate Polymers*. (244). Article 116495. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116495>.
82. Gutiérrez, T.J. (2018). Are modified pumpkin flour/plum flour nanocomposite films biodegradable and compostable. *Food Hydrocolloids*. (83). 397-410. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.035>.
83. Gutiérrez, T.J., Toro-Márquez, L.A., Merino, D. & Mendieta, J.R. (2019). Hydrogenbonding interactions and compostability of bionanocomposite films prepared from corn starch and nano-fillers with and without added Jamaica flower extract. *Food Hydrocolloids*. (89). 283-293. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.058>.
84. Ochoa-Yepes, O., Medina-Jaramillo, C., Guz, L. & Fam'a, L. (2019). Biodegradable and edible starch composites with fiber-rich lentil flour to use as food packaging. *Starch/Stärke*. 70 (7-8). 1700222. <https://doi.org/10.1002/star.201700222>.

Информация об авторах

Л. Ч. Бурак – доктор философии в области пищевых наук, кандидат технических наук, профессор РАЕ, директор Общества с ограниченной ответственностью «Белросакава».

Information about the authors

L.Ch. Burak - Doctor of Philosophy in the field of food sciences, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences, Director of the Limited Liability Company "Belrosakava".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 10.10.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 10 Okt 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



МОДИФИКАЦИЯ БЕЛКОВОГО ПРОФИЛЯ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *MACTRA CHINENSIS*

Антон Вадимович Табакаев^{1, 2}, Оксана Вацлавовна Табакаева¹

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, Россия

² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова" Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, г. Владивосток, Россия

1, 2 yankovskaya68@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе приведены результаты исследований по обоснованию возможности использования фракции электроактивированной воды (анолита) в качестве гидролизующего агента для модификации белкового профиля мягких тканей двусторчатого моллюска Дальневосточного региона *Mactra chinensis*. Основными исследованными параметрами влияния определены pH среды, продолжительность процесса гидролиза и температура. Исследовано изменение содержания сухих веществ, общего и аминного азота в гидролизате и степень гидролиза в зависимости от условий процесса. Наиболее интенсивно процесс гидролиза идет в течение 7 часов, содержание сухих веществ в гидролизате увеличивается на 146 % (с 2 часов до 7 часов), за последующие 2 часа – всего на 4 %. Содержание общего и аминного азота также максимально увеличивается при продолжительности гидролиза 7 часов – 134 % и 206 % соответственно. Степень гидролиза возрастает с 36 % при 2 часах гидролиза до 75 % при 9 часах. Максимальный прирост накопления сухих веществ, общего и аминного азота в гидролизатах наблюдается при pH 3 и составляет 14–27 % для сухих веществ, 8–10 % для общего азота и 11–12 % для аминного азота. Возрастание степени гидролиза гораздо более существенное и составляет 18–77 %. Экспериментальным путем определено, что рациональными параметрами гидролиза, обеспечивающими достижение оптимального содержания аминного азота и максимальной степени гидролиза, являются pH 3, время 7 часов, температура процесса 70 °C. Результаты регрессионного анализа установленных зависимостей, в частности коэффициенты аппроксимации R^2 , показали, что полученные квадратные уравнения достаточно адекватно описывают закономерности процесса модификации белкового профиля мягких тканей двусторчатого моллюска Дальневосточного региона *Mactra chinensis* в зависимости от pH, продолжительности и температуры процесса.

Ключевые слова: модификация, белковый профиль, гидролиз, анолит, гидролизат.

Для цитирования: Табакаев А. В., Табакаева О. В. Модификация белкового профиля двусторчатого моллюска *Mactra Chinensis* // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 106–113. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.013. EDN: <https://elibrary.ru/RCHYKS>.

МОДИФИКАЦИЯ БЕЛКОВОГО ПРОФИЛЯ ДВУСТВОРЧАТОГО
МОЛЛЮСКА *MACTRA CHINENSIS*

Original article

**MODIFICATION OF THE PROTEIN PROFILE OF THE BIVALVE
MOLLUSK *MACTRA CHINENSIS***

Anton V. Tabakaev^{1, 2}, Oksana V. Tabakaeva¹

¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Far Eastern Federal University", Vladivostok, Russia

² Federal State Budgetary Scientific Institution "G.P. Somov Research Institute of Epidemiology and Microbiology" of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Vladivostok, Russia

^{1, 2} yankovskaya68@mail.ru

Abstract. This paper presents the results of studies to substantiate the possibility of using a fraction of electroactivated water (anolyte) as a hydrolyzing agent for modifying the protein profile of soft tissues of the bivalve mollusk of the Far Eastern region *Mactrachinensis*. The pH of the medium, the duration of the hydrolysis process and the temperature were determined by the main studied parameters of the influence. The changes in the content of dry substances, total and amine nitrogen in the hydrolysate and the degree of hydrolysis depending on the process conditions were investigated. The hydrolysis process is most intensive for 7 hours, the dry matter content in the hydrolysate increases by 146 % (from 2 hours to 7 hours), over the next 2 hours – by only 4 %. The content of total and amine nitrogen also maximizes with the duration of hydrolysis of 7 hours -134 % and 206 %, respectively. The degree of hydrolysis increases from 36 % at 2 hours of hydrolysis to 75 % at 9 hours. The maximum increase in the accumulation of solids, total and amine nitrogen in hydrolysates is observed at pH 3 and amounts to 14-27 % for solids, 8-10 % for total nitrogen and 11-12 % for amine nitrogen. The increase in the degree of hydrolysis is much more significant and amounts to 18-77 %. Experimentally determined that the rational parameters of hydrolysis, ensuring the achievement of the optimal content of amine nitrogen and the maximum degree of hydrolysis are pH 3, time 7 hours, process temperature 70 0C. The results of regression analysis of the established dependencies, in particular the coefficients of approximation R², showed that the obtained quadratic equations adequately describe the regularities of the process of modification of the protein profile of soft tissues of the bivalve mollusk of the Far Eastern region *Mactrachinensis* depending on the pH, duration and temperature of the process.

Keywords: modification, protein profile, hydrolysis, anolyte, hydrolysate.

For citation: Tabakaev, A.V. & Tabakaeva, O.V. (2023). Modification of the protein profile of the bivalve mollusk *Mactra Chinensis*. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 106-113. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.013. EDN: <https://elibrary.ru/RCHYKS>.

ВВЕДЕНИЕ

Ограниченнность ресурсов, в том числе и биологических, ставит задачи по разработке комплексного и рационального их использования, а также переработке некондиционного сырья. Все это в полной мере касается и сырья морского происхождения, особенно нерыбных объектов промысла – головоногих, двустворчатых, брюхоногих моллюсков, иглокожих, членистоногих, водорослей. Технологии по ресурсоэффективному использованию биогенного и биотехнологического потенциала нерыбных объектов промысла, в частности двустворчатых моллюсков, позволяют получать новые белковые и аминокислотные системы с целью использования как в пищевой индустрии, так и индустрии БАД.

M. chinensis – двустворчатый моллюск, представитель семейства мактидов. В Приморье обитают два вида этих моллюсков: китайская и субтропическая венереформис, наиболее крупные особи достигают восьми сантиметров в длину. Большую часть времени эти моллюски проводят закопавшись в поверхность грунта. Мягкие пищевые ткани *M. chinensis* имеют сладковатый вкус из-за высокого содержания гликогена и являются популярным блюдом в странах Юго-Восточной Азии. Наибольшая длина раковины около 80 мм, масса – 71 г., промысловый размер составляет 45 мм. Мягкие ткани составляют 27–35 % от общей массы тела, а створки – 31–37 % [1–4].

При переработке двустворчатых моллюс-

ков образуются сухие отходы – раковины, и влажные отходы от разделки мышечной ткани. Обработке может подвергаться мышечная ткань некондиционных моллюсков, а также отходы, полученные при переработке – срезанные остатки мускулов-замыкателей, мантия или ее части, другие части мышечной ткани с механическими повреждениями при технологии [5]. Массовая доля отходов тканей для *M. chinensis* составляет около 11 % от массы ткани моллюска [6]. Квоты на вылов данного моллюска постепенно увеличиваются из года в год. Так, в 2020 г. мягких пищевых тканей *M. chinensis* согласно квоте было добыто 22 тонны, из них 2,5 тонны составляют отходы.

Наиболее приемлемыми способами конверсии белоксодержащего сырья являются различные типы гидролиза – химический (кислотный, щелочной) и ферментативный. Белковые гидролизаты характеризуются повышенной растворимостью белков, эмульгирующими и водосвязывающими свойствами, биологической активностью, что может быть использовано в технологии специализированных пищевых систем [7–9].

Щелочной гидролиз характеризуется как тип гидролиза, при котором расщепляются все типы пептидных связей между различными аминокислотными остатками с высокой степенью, однако в результате происходит рацемизация аминокислот, приводящая к изменению биологической ценности, полное разрушение триптофана и частичное оксаминонокислот (серина и треонина), а также наблюдается дезаминирование амидных связей аспарагина и глутамина с образованием аммиачного азота, разрушение витаминов. С экономической точки необходимости значительные затраты тепловой энергии для обеспечения высокой температуры процесса [10].

Кислотный гидролиз является достаточно простым и эффективным методом конверсии, при котором происходит расщепление всех типов пептидных связей между различными аминокислотными остатками. Традиционно кислотный гидролиз осуществляется с применением сильных неорганических кислот (соляной и серной). У данного метода гидролиза существует ряд недостатков и ограничений, основными из которых являются: частичное или полное разрушение отдельных аминокислот; по окончании процесса необходима нейтрализация гидролизата, при которой образуется большое количество солей (хлоридов и сульфатов), что негативно влияет на потребительские характеристики получаемого гидролизата и ограничивает применение в пищевых системах. Кроме того, с

экономической точки зрения данный тип гидролиза требует значительных затрат энергии, так как протекает при достаточно высоких температурах [11]. Существуют исследования по проведению кислотного гидролиза с использованием органических кислот, в частности лимонной, с образованием в гидролизате цитратов [12].

Щелочной и кислотный гидролиз проводятся в достаточно жестких условиях и приводят практически к полному разрушению белковых молекул с образованием смеси аминокислот и короткоцепочечных пептидов, что целесообразно при необходимости получения именно данных веществ.

Ферментативный гидролиз является более мягким, так как протекает при более низких температурах, традиционно 37–50 °С, что не приводит к изменениям аминокислот и снижению биологической ценности, энергозатраты являются достаточно низкими. Однако содержащиеся в сырье белки расщепляются частично, с образованием отдельных субъединиц белка, полипептидов и смеси аминокислот, степень гидролиза обычно существенно ниже, чем при щелочном и кислотном гидролизе [13–18]. Выбор типа гидролиза определяется необходимой степенью трансформации белковых молекул и целевым продуктом, который необходимо получить. Использование новых гидролизующих агентов является перспективным и актуальным направлением исследований, позволяющим снизить последствия недостатков определенных типов гидролиза. Интересной идеей является использование в качестве гидролизующего агента электроактивированной воды – анолита кислотного с pH менее 5,0 единиц. Электроактивированные водные растворы солей находят применение в сельском хозяйстве, пищевой промышленности, ветеринарии, медицине [19]. Электрохимическая активация воды и водных растворов осуществляется в диафрагменных электролизерах – активаторах диафрагменного типа под действием постоянного электрического тока. При этом обычно в катодной камере электролизера получают щелочной раствор (католит), в анодной – кислотный раствор (анолит). Католит и анолит обладают биологической активностью [19].

Целью настоящего исследования является модификация белкового профиля мягких тканей двустворчатого моллюска *M. chinensis* с использованием в качестве гидролизующего агента фракции электроактивированной воды (анолита) путем определения рациональных параметров процесса.

МОДИФИКАЦИЯ БЕЛКОВОГО ПРОФИЛЯ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *MASTRA CHINENSIS*

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования являлись гидролизаты из мягких частей двустворчатого моллюска *M.chinensis*, полученные с использованием электроактивированной воды (анолита) при разных условиях.

Получение электроактивированной воды. Электрохимически активированный раствор анонита кислотного получали на установке «Аквамед» производства ЧНПУП «Аква-прибор» (г. Гомель, Республика Беларусь) из водопроводной воды. Процесс осуществляли при силе тока 0,3–0,5 А, напряжении 40–41 В, температуре 20–24 °С в течение 20 мин.

Получение гидролизата. Мягкие ткани двустворчатого моллюска *M.chinensis* гомогенизировали (измельчали) до получения однородной массы, затем добавляли кислотный анолит в массовом соотношении 1:1. Смесь нагревали до определенной температуры, процесс гидролиза проводили при непрерывном перемешивании в течение заданного времени. Жидкую фракцию отделяли от плотного остатка центрифугированием и далее декантированием. После фильтрования с использованием бумажных фильтров гидролизат сушили в лиофильной сушилке (сублимационная сушка) при –40 °С под вакуумом.

Для характеристики получаемых гидролизатов целевыми функциями являлись содержание сухих веществ, общего и аминного азота, степень гидролиза как показатели эффективности гидролиза. Содержание сухих веществ (СВ) определялось стандартным методом высушивания.

Содержание аминного (формольнотитруемого азота (ФТА)) в протеиновой фракции определяли по [20]. Метод основан на связывании формалином концевых групп АК с последующим титрованием 0,1 н раствором гидроксида натрия, освободившихся карбоксильных групп. Содержание общего азота – по Кельдалю.

Концентрации общего и аминного азота в пробе, г / л, рассчитывали соответственно по формулам:

$$С_{AA} = N_{AA} \cdot 10\rho ;$$

$$С_{AA0} = N_{AA0} \cdot 10\rho ;$$

$$С_{OA} = N_{OA} \cdot 10\rho ,$$

где ρ – плотность гидролизата, г / л.

Степень гидролиза СГ, %, полученного ферментативного белкового гидролизата определяли по формуле

$$СГ = \frac{N_{AA} - N_{AA0}}{N_{OA} - N_{AA0}} \times 100 \% ,$$

где СГ – степень гидролиза

N_{OA} – содержание общего азота, %;

N_{AA0} – содержание аминного азота в не-гидролизованном сырье, %

N_{AA} – содержание аминного азота в гидролизате после гидролиза в течение некоторого периода времени, %.

Все исследования проводили в 3-х кратной повторности. Экспериментальные данные представлены в виде $M \pm m$. Статистическую обработку проводили с использованием пакетов прикладных статистических программ *Excel*, *Statistica 7.0*. Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента при 95 %-ном уровне значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Зависимость накопления сухих веществ, общего и аминного азота, степени гидролиза от продолжительности процесса в кислотных гидролизатах мягких тканей двустворчатого моллюска *M.chinensis* представлена на рисунке 1.

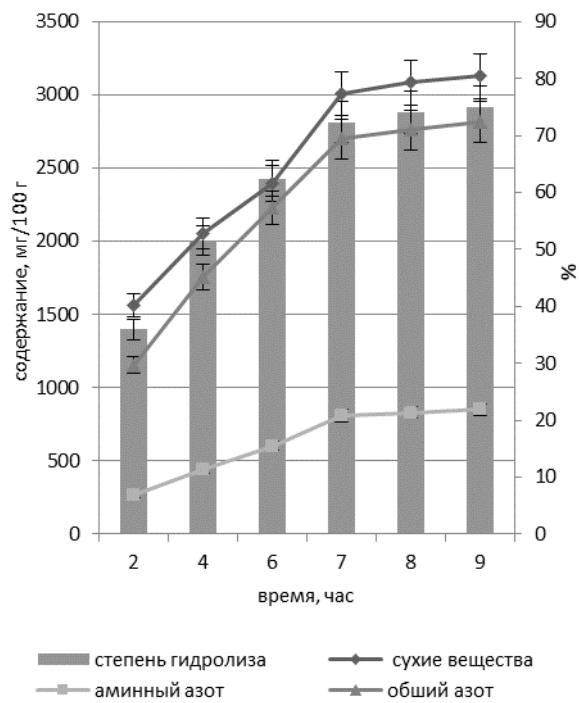


Рисунок 1 – Зависимость содержания сухих веществ, общего и аминного азота, степени гидролиза от продолжительности процесса в гидролизатах мягких тканей двустворчатого моллюска *M.chinensis*

Figure 1 - Dependence of the dry matter content, total and amine nitrogen, the degree of hydrolysis on the duration of the process in the soft tissue hydrolysates of the bivalve mollusk *M.chinensis*

Визуализация данных на рисунке 1 демонстрирует, что наиболее интенсивно процесс гидролиза идет в течение 7 часов, содержание сухих веществ в гидролизате уве-

личивается на 146 % (с 2 часов до 7 часов), за последние 2 часа – всего на 4 %. Содержание общего и аминного азота также максимально увеличивается при продолжительности гидролиза 7 часов – 134 % и 206 % соответственно. Степень гидролиза возрастает с 36 % при 2 часах гидролиза до 75 % при 9 часах.

Таблица 1 – Уравнения регрессии, описывающие зависимость содержания сухих веществ, общего и аминного азота, степени гидролиза в гидролизатах мягких тканей двустворчатого моллюска *M.chinensis* от продолжительности процесса

Table 1 - Regression equations describing the dependence of the dry matter content, total and amine nitrogen, the degree of hydrolysis on the duration of the process in the soft tissue hydrolysates of the bivalve mollusk *M.chinensis*

Показатель	Уравнение регрессии	Коэффициент аппроксимации, R^2
Сухие вещества, мг/100г	$y = 740,62x - 58,804x^2 + 837,5$	0,9893
Общий азот, мг/100г	$y = 888,42x - 78,839x^2 + 321,1$	0,9973
Аминный азот, мг/100г	$y = 290,78x - 23,964x^2 - 21,6$	0,9915
Степень гидролиза, %	$y = 21,47x - 1,9554x^2 + 16,41$	0,9987

Х (час) – продолжительность процесса

Полученные уравнения показывают, что они адекватно описывают зависимость содержания сухих веществ, общего и аминного азота, степени гидролиза от продолжительности процесса квадратичной зависимостью, о чем свидетельствуют высокие коэффициенты аппроксимации, близкие к 1.

Влияние pH фракции электроактивированной воды (анолита) на целевые характеристики гидролизатов представлено графически на рисунке 2.

Данные рисунка 2 доказывают, что максимальный прирост накопления сухих веществ, общего и аминного азота в гидролизатах наблюдается при pH 3 в сравнении с pH 2 и 2,5 и составляет 14–27 % для сухих веществ, 8–10 % для общего азота и 11–12 % для аминного азота. Возрастание степени гидролиза гораздо более существенное и составляет 18–77 %. При более высоких значениях pH (от 3,5 до 5) прирост содержания является незначительным и составляет не более 1,5 % для аминного азота, 2,1 % для общего азота, 1,9 % для сухих веществ, 3,2 % для степени гидролиза.

Уравнения регрессии, описывающие зависимость содержания сухих веществ, общего и аминного азота, степени гидролиза от pH процесса, полученные путем применения статистических вычислений, представлены в таблице 2.

Статистическая обработка результатов и отсев незначимых коэффициентов позволили получить уравнения регрессии, описывающие взаимосвязь содержания сухих веществ, общего и аминного азота, степени гидролиза от продолжительности процесса в гидролизатах мягких тканей двустворчатого моллюска *M.chinensis*, представленные в таблице 1.

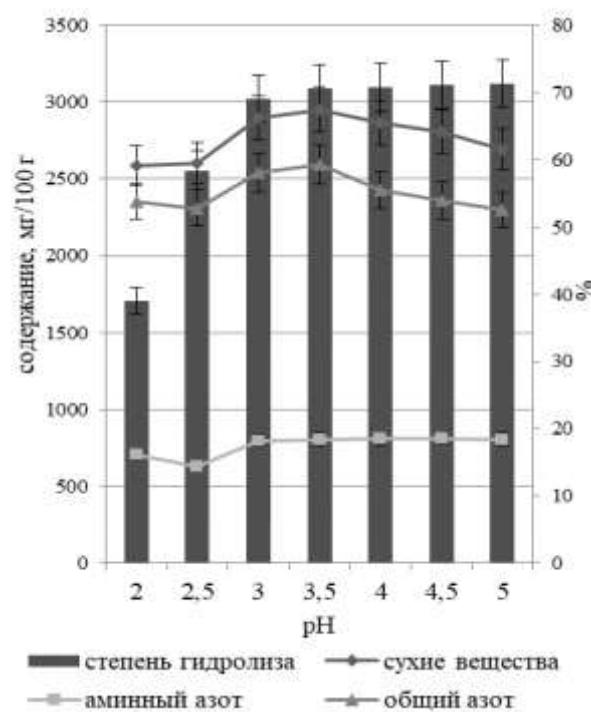


Рисунок 2 – Зависимость содержания сухих веществ, общего и аминного азота, степени гидролиза от pH процесса в гидролизатах мягких тканей двустворчатого моллюска *M.chinensis*

Figure 2 - Dependence of the dry matter content, total and amine nitrogen, the degree of hydrolysis

on the pH of the process in the soft tissue hydrolysates of the bivalve mollusk *M.chinensis*

МОДИФИКАЦИЯ БЕЛКОВОГО ПРОФИЛЯ ДВУСТВОРЧАТОГО
МОЛЛЮСКА *MACTRA CHINENSIS*

Таблица 2 – Уравнения регрессии, описывающие зависимость содержания сухих веществ, общего и аминного азота, степени гидролиза от pH процесса

Table 2 - Regression equations describing the dependence of the dry matter content, total and amine nitrogen, the degree of hydrolysis on the pH of the process

Показатель	Уравнение регрессии	Коэффициент аппроксимации, R^2
Сухие вещества, мг/100г	$y = 279,2x - 31,798x^2 + 2290,9$	0,9033
Общий азот, мг/100г	$y = 184,45x - 23,833x^2 + 2151$	0,7878
Аминный азот, мг/100г	$y = 60,536x - 2,3929x^2 + 602,86$	0,9075
Степень гидролиза, %	$y = 18,35x - 1,6786x^2 + 25,386$	0,9723

X (час) – pH процесса

Представленные в таблице 2 уравнения регрессии демонстрируют, что они аналогично уравнениям регрессии зависимости от времени адекватно описывают накопление сухих веществ, общего и аминного азота и изменение степени гидролиза от pH процесса квадратичной зависимостью. Коэффициенты аппроксимации высокие: от 0,79 для зависимости содержания общего азота от pH, до 0,97 для зависимости степени гидролиза от pH.

Еще одним важным фактором, влияющим на процесс гидролиза, является температура процесса. Зависимость содержания сухих веществ, общего и аминного азота в гидролизатах, степени гидролиза от температуры процесса представлена на рисунке 3.

Графическое представление зависимости содержания сухих веществ, общего и аминного азота в гидролизатах, степени гидролиза от температуры процесса позволяет утверждать, что оптимальной является температура 70 °C, позволяющая достигнуть заданных показателей. Дальнейшее увеличение температуры приводит к незначительному увеличению показателей – не более 5 % для степени гидролиза, 5,1 % – для аминного азота, 2,9 % – для общего азота, 3,8 % – для сухих веществ.

Статистическая обработка полученных результатов позволила вывести уравнения регрессии, описывающие зависимость содержания сухих веществ, общего и аминного азота, степени гидролиза от температуры процесса, представленные в таблице 3.

Уравнения регрессии таблицы 3 аналогичны уравнениям регрессии зависимости от времени и pH и адекватно описывают содержание сухих веществ, общего и аминного азота, степень гидролиза в зависимости от pH процесса, коэффициенты аппроксимации: 0,98 – для зависимости содержания сухих веществ от температуры, 0,99 – для зависимости содержания общего и аминного азота, степени гидролиза от температуры.

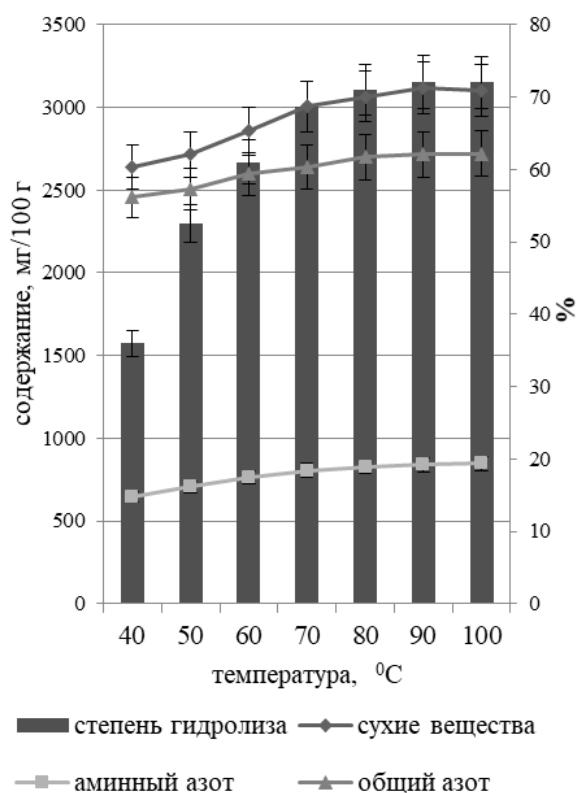


Рисунок 3 – Зависимость содержания сухих веществ, общего и аминного азота, степени гидролиза от температуры процесса в кислотных гидролизатах мягких тканей двустворчатого моллюска *M.chinensis*

Figure 3 - Dependence of the dry matter content, total and amine nitrogen, the degree of hydrolysis on the temperature of the process in acid hydrolysates of soft tissues of the bivalve mollusk *M.chinensis*

Таблица 3 – Уравнения регрессии, описывающие зависимость содержания сухих веществ, общего и аминного азота, степени гидролиза от температуры процесса

Table 3 - Regression equations describing the dependence of the dry matter content, total and amine nitrogen, the degree of hydrolysis on the temperature of the process

Показатель	Уравнение регрессии	Коэффициент аппроксимации, R^2
Сухие вещества, мг/100г	$y = 179,25x - 6,8929x^2 + 2423,4$	0,9829
Общий азот, мг/100г	$y = 80,679x - 2,6786x^2 + 2371,4$	0,9975
Аминный азот, мг/100г	$y = 87,381x - 5,3333x^2 + 556,86$	0,9915
Степень гидролиза, %	$y = 18,071x - 1,5571x^2 + 20,757$	0,9959

Х (час) – температура процесса

Выводы

Таким образом, результатами проведенных исследований экспериментально подтверждена возможность использования в качестве гидролизующего агента для мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *M.chinensis* кислотного ано-лита. Основными параметрами влияния являются pH среды, продолжительность процесса и температура. Рациональными параметрами гидролиза, обеспечивающими достижение оптимального содержания аминного азота и максимальной степени гидролиза, установлены: pH – 3, время – 9 часов, температура процесса – 70 °C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзамасцев И.С., Яковлев Ю.М., Евсеев Г.А. Атлас промысловых беспозвоночных и водорослей морей Дальнего Востока России. Владивосток, Аванте, 2001. 192 с.

2. Ресурсы и структура поселений прибрежных беспозвоночных Приморского края / Е.Э. Борисовец [и др.] // Отчёт о научно-исследовательской работе. Владивосток, ФГУП ТИНРО-Центр, 2004. 260 с.

3. Скарлато О.А. Двусторчатые моллюски умеренных широт северо-западной части Тихого океана. Л. : Наука, 1981. 480 с.

4. Явнов С.В. Распространение и состояние ресурсов мактры китайской (*Macra chinensis*) в прибрежных водах Приморья Японского моря // Известия ТИНРО. 2009. Т. 159. С. 123–135.

5. Купина Н.М. Основные результаты исследования двусторчатых моллюсков прибрежной зоны Японского моря // Известия ТИНРО. 2015. Т. 181. С. 249–257.

6. Акулин В.Н., Ерухимович В.Б., Поздняков С.Е. Проблемы освоения биоресурсов и развития марикультуры в прибрежных районах Дальнего Востока / В.Н. Акулин, // Известия ТИНРО. 2009. Т. 159. С. 401–414.

7. Зорин С.Н. Ферментативные гидролизаты пищевых белков для специализированных пищевых продуктов диетического (лечебного и профилактического) назначения / С.Н. Зорин, // Известия ТИНРО. 2015. Т. 159. С. 19–23.

8. Максимюк Н.Н., Марьиновская Ю.В. О преимуществах ферментативного способа получения белковых гидролизатов // Фундаментальные исследования. 2009. № 1. С. 34–35.

9. Изучение гидролиза коллагенсодержащего сырья протеолитическими ферментами / Э.Ш. Юнусов [и др.] // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 24. С. 168–170.

10. Clemente A. Enzymatic protein hydrolysates in human nutrition // Trends in Food Science & Technology. 2000. № 11. Р. 254–262.

11. Thomson R.L. Protein hydrolysates and tissue repair // Nutrition Research Reviews. 2011. № 24. Р. 191–197.

12. Improved Functional Characteristics of Whey Protein Hydrolysates in Food Industry / R.K.C. Jeewantha [и др.] // Korean J. Food Sci. An. 2015. № 35 (3). Р. 350–359.

13. Rutherford-Markwick K., Moughan P. Bioactive peptides derived from food // Journal of AOAC International. 2005. № 88 (3). Р. 955–966.

14. Бахир В.М. Электрохимическая активация: изобретения, техника, технология. М. 2014. 511 с.

15. Байдалинова Л.С. Биохимия гидробионтов: методы и приложения. М. 2014. 224 с.

МОДИФИКАЦИЯ БЕЛКОВОГО ПРОФИЛЯ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *MACTRA CHINENSIS*

Информация об авторах

А. В. Табакаев – кандидат технических наук, доцент Департамента пищевых наук и технологий Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет».

О. В. Табакаева – доктор технических наук, доцент, профессор Департамента пищевых наук и технологий Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет».

REFERENCES

1. Arzamashev, I.S., Yakovlev, Y.M. & Evseev, G.A. (2001). Atlas of commercial invertebrates and algae of the seas of the Russian Far East. Vladivostok, Avante (In Russ.).
2. Borisovets, E.E. et al. (2004). Resources and structure of settlements of coastal invertebrates of Primorsky Krai. Report on research work. Vladivostok, FSUE TINRO-Center. (In Russ.).
3. Scarlato, O.A. (1981). Bivalve mollusks of temperate latitudes of the northwestern Pacific Ocean. L. : Nauka. (In Russ.).
4. Yavnov, S.V. (2009). Distribution and state of resources of the Chinese mactra (*Mactrachinensis*) in the coastal waters of the Primorye of the Sea of Japan. *Izvestiya TINRO*. (159). 123-135. (In Russ.).
5. Kupina, N.M. (2015). The main results of the study of bivalve mollusks of the coastal zone of the Sea of Japan. *TINRO News*. (181). 249-257. (In Russ.).
6. Akulin, V.N., Yerukhimovich, V.B. & Pozdnyakov, S.E. (2009). Problems of the development of biore-sources and the development of mariculture in the coastal regions of the Far East. *Izvestiya TINRO*. (159). 401-414. (In Russ.).
7. Zorin, S.N. (2019). Enzymatic hydrolysates of food proteins for specialized food products of dietary (therapeutic and preventive) nutrition. Questions of nutrition. 88(3). 23-31. (In Russ.). doi: 10.24411/0042-8833-2019-10026.
8. Sviridenko, Yu.Ya., Myagkonosov, D.S., Abramov, D.V. & Ovchinnikova, E.G. (2017). Scientific and methodological approaches to the development of protein hydrolysate technology for special nutrition. Part 1. Production technology and technical characteristics of hydrolysates. *Food industry*. (5). 48-51. (In Russ.).
9. Sviridenko, Yu.Ya., Myagkonosov, D.S., Abramov, D.V. & Ovchinnikova, E.G. (2017). Scientific and methodological approaches to the development of protein hydrolysate technology for special nutrition. Part
2. Functional properties of protein hydrolysates depending on the specificity of proteolytic processes. *Food industry*. (6). 50-53. (In Russ.).
10. Baidalinov, L.S., Lysova, A.S. & Mezenova, O.Ya. (2006). Seafood biotechnology: textbook. M. : Mir. (In Russ.).
11. Telishevskaya, L.Ya. (2000). Protein hydrolysates. Obtaining, composition, application. M. : Agrarian Science. (In Russ.).
12. Tabakaeva, O.V., Tabakaev, A.V. & Lukoshko, V.G. (2016). New directions of using bivalve mollusks of the Far Eastern region. *Food industry*. (4). 19-23. (In Russ.).
13. Maksimyuk, N.N. & Maryanovskaya, Yu.V. (2009). On the advantages of the enzymatic method for obtaining protein hydrolysates. *Fundamental research*. (1). 34-35. (In Russ.).
14. Yunusov, E.S., Ponomarev, V.Ya., Morozova, S.A. & Yezhikova, G.O. (2016). The study of hydrolysis of collagen-containing raw materials by proteolytic enzymes. *Bulletin of the Technological University*. 19(24). 168-170. (In Russ.).
15. Clemente, A. (2000). Enzymatic protein hydrolysates in human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*. № 11. 254-262.
16. Thomson, R.L. (2011). Protein hydrolysates and tissue repair. *Nutrition Research Reviews*. (24). 191-197.
17. Jeewanthi, R.K.C., Lee, N.K. & Paik, H.D. (2015). Improved Functional Characteristics of Whey Protein Hydrolysates in Food Industry. *Jeewanthi*. Korean J. Food Sci. An.35 (3). 350-359.
18. Rutherford-Markwick, K. & Moughan, P. (2005). Bioactive peptides derived from food. *Journal of AOAC International*. 88 (3). 955-966.
19. Bakhir, V.M. (2014). Electrochemical activation: inventions, technique, technology. M. (In Russ.).
20. Baidalinova, L.S. (2017). Biochemistry of hydrobionts: laboratory practicum M. : MORKNIGA. (In Russ.).

Information about the authors

A.V. Tabakaev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Sciences and Technologies of the Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems" of the Far Eastern Federal University.

O.V. Tabakaeva - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Food Sciences and Technologies of the Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems" Far Eastern Federal University".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 10.10.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 10 Okt 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



ПОЛИПЕТИД МОЛОЗИВА КОРОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИНГРЕДИЕНТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ

Сергей Леонидович Тихонов ¹, Ирина Михайловна Чернуха ²

¹ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

² Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Россия

¹ tihonov75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

² imcher@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4298-0927>

Аннотация. Белок молозива коров и его фракции являются ценными источниками биоактивных пептидов с противовирусной активностью, что ценно для разработки новых пищевых продуктов профилактического назначения. Авторами проведены исследования по изучению влияния полипептида, выделенного из трипсинового гидролизата молозива коров, на интеграцию лентивирусных частиц в геном и проникновение в мембрану клеток. Полипептид, молекулярная масса которого составляет 18 кДа, состоит из 49 аминокислот. В качестве модельного объекта, на котором изучена противовирусная активность данного полипептида (*trpT*), были использованы клеточные линии С6 и НЕК 293Т. Анализ 2D- и 3D-пространственной структуры полипептида показал, что аминокислотные последовательности исследуемых образцов пептидов формируют вторичные структуры – преимущественно альфа-спираль. Изоэлектрическая точка полипептида находится в сильнощелочной среде (11,7), уровень гидрофильности соответствует +48,34 Ккал*моль⁻¹. Высокая гидрофильность защищает полипептид от опсонизации фаго- и эногицита. Трехмерная модель *trpT* позволила установить, что он обладает высокой химической активностью, так как его заряд (+6), что способствует усилению взаимодействия с атомами клетки и лизису вирусных ДНК и РНК. Полипептид *trpT* снижает эффективность трансдукции лентивирусных частиц на 81 %. Интенсификация проникновения вируса через мембрану значительно снизилась, о чем свидетельствует снижение общего количества GFP внутри клетки. Статистическая обработка подтвердила, что при культивировании клеток при температуре 37 °С в значительной степени уменьшилось общее количество GFP внутри клетки при заражении вирусом. Полученные данные позволяют рекомендовать использовать исследуемый полипептид *trpT* в качестве функционального ингредиента в составе специализированной пищевой продукции для профилактики вирусных инфекций. Однако необходимо учитывать, что существует определенный пробел в знаниях в отношении токсичности, аллергенности, стабильности, биодоступности и эффективности биопептидов в составе продуктов специализированного назначения, особенно в экспериментах *invivo*, что свидетельствует о необходимости дополнительных исследований.

Ключевые слова: молочный белок, трипсин, ферментативный гидролизат, молозиво коров, биологически активные пептиды, противовирусная активность, интеграция вируса в геном, проникновение вируса через мембрану клетки, продукты специализированного назначения.

Для цитирования: Тихонов С. Л., Чернуха И. М. Полипептид молозива коров – перспективный функциональный ингредиент специализированной пищевой продукции для профилактики вирусных инфекций // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 114–122. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.014. EDN: <https://elibrary.ru/XQQEMB>.

ПОЛИПЕПТИД МОЛОЗИВА КОРОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ
ИНГРЕДИЕНТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ
ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ

Original article

COW COLOSTRUM POLYPEPTIDE IS A PROMISING FUNCTIONAL INGREDIENT IN THE COMPOSITION OF SPECIALIZED FOOD PRODUCTS FOR THE PREVENTION OF VIRAL INFECTIONS

Sergey L. Tikhonov ¹, Irina M. Chernukha ²

¹ Federal Scientific Center for Food Systems. V.M. Gorbatov, Moscow, Russia

² Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

¹ imcher@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4298-0927>

² tihonov75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

Abstract. Bovine colostrum protein and its fractions are valuable sources of bioactive peptides with antiviral activity. Studies have been carried out to study the biological activity of the impact of a previously unstudied polypeptide isolated from trypsin hydrolyzate of bovine colostrum on integration into the genome and penetration into the membrane of lentiviral particles. The polypeptide consists of 49 amino acids, the molecular weight of which is 18 kDa. As a model object, on which the antiviral activity of the polypeptide (mpT) was studied, cell lines C6 and HEK 293T were used. An analysis of the 2D and 3D spatial structure of the peptide made it possible to establish that the amino acid sequences of the studied samples form secondary structures, predominantly an alpha helix. The isoelectric point is in a strongly alkaline medium (11.7), the hydrophilicity level of the peptide corresponds to +48.34 Kcal*mol-1. The high hydrophilicity of the isolated peptide protects it from opsonization by phage and endocytosis. A three-dimensional model of the mpT polypeptide made it possible to establish that it has a high chemical activity, since its charge is +6, which enhances interaction with cell atoms and lysis of viral DNA and RNA. The mpT polypeptide reduces the efficiency of transduction of lentiviral particles by 81 %. The intensification of virus penetration through the membrane significantly decreased, as evidenced by the decrease in the total amount of GFP inside the cell. Statistical processing confirmed that when cells were cultured at 37°C, the total amount of GFP inside the cell significantly decreased upon infection with the virus. The data obtained make it possible to recommend the use of mpT as a functional ingredient in the composition of specialized food products for the prevention of viral infections. But it must be taken into account that there is a certain gap in knowledge regarding the toxicity, allergenicity, stability, bioavailability and effectiveness of biopeptides in the composition of functional products, especially in experiments *in vivo*, which indicates the need for additional research.

Keywords: milk protein, trypsin, enzymatic hydrolysate, cow colostrum, biologically active peptides, antiviral activity, virus integration into the genome, virus penetration through the cell membrane, specialized products.

For citation: Tikhonov, S.L. & Chernukha, I.M. (2023). Cow colostrum polypeptide is a promising functional ingredient in the composition of specialized food products for the prevention of viral infections. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 114-122. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.014. EDN: <https://elibrary.ru/XQQEMB>.

ВВЕДЕНИЕ

Молочный белок и его фракции являются ценными источниками биоактивных пептидов с различной функциональной активностью, такой как антитромботическая, антимикробная, противовирусная, антиоксидантная, гипотензивная, иммуномодулирующая, а иногда они обладают комплексной активностью [1]. В частности, идентифицированы биоактивные пептиды молока и молозива и обоснована перспективность их использования в функциональных продуктах питания [2].

При гидролизе молока с использованием

ферментов пепсин-панкреатин получены пептиды с антиоксидантной и антицитотоксической активностью [3]. Концентрирование и очистку пептидов осуществляют с помощью ультрафильтрации и обратнофазной жидкостной хроматографии соответственно. Авторами [3] выделено три пептида с последовательностями LEEQQQTEDEQQDQL (MW: 1860,85 Да, LL-15), YLEELHRLNAGY (MW: 1477,63 Да, YY-11) и RGLHPVPQ (MW: 903,04 Да, RQ-8), которые проявляли высокую активность по связыванию свободных радикалов и повышенную экспрессию дисмутазы и катализы в клетку.

Ряд научных исследований сосредоточе-

но на изучении белков и их фракций из второстепенных видов молочных продуктов, в частности, молозива коров, особенно на выявлении биоактивных пептидов. Однако большая часть работ посвящена исследованию высвобождения пептидов во время переваривания белков *in vivo* или *in vitro* [4]. Следовательно, все еще существуют неиспользованные и неизученные свойства молозива коров, главным образом в области биоактивных пептидов. В литературе очень мало информации о биоактивных пептидах молозива.

Одним из наиболее изученных компонентов молозива является лактоферрин, многофункциональность которого заключается в регуляции железа в организме. Средняя концентрация лактоферрина в коровьем молозиве составляет 6–8 г/л [5]. Длительное время изучается действие лактоферринов, лактоферрицинов и других производных лактоферрина в отношении антимикробной активности на молекулярном уровне [6].

Лактоферрин подавляет инфекции, вызываемые вирусами, связываясь с целевыми клетками и, в свою очередь, препятствуя росту, а также внутриклеточной репликации вирусов [7]. Пероральный прием лактоферрина показал высокую эффективность при лечении гриппа, герпеса и бактериальной инфекции [9]. Авторами [10] из лактоферрина получены антиоксидантные пептиды с молекулярной массой от 913 до 2351 Да, которые потенциально могут быть использованы в качестве ингредиента в нутрицевтиках или функциональных продуктах питания.

Авторы [11] использовали коммерческие протеазы, а именно папаин, алкализу и химотрипсин, для гидролиза казеиновой фракции белка молока и получения биопептидов. Установлено, что пептиды, полученные с помощью гидролиза молочного белка химотрипсином, обладают более высокой антиоксидантной активностью, в то время как алкализу и химотрипсин позволяют получить пептиды с антимикробной активностью. Следовательно, гидролизат цельного молочного белка может полезным при использовании в качестве нутрицевтического или функционального пищевого ингредиента.

В последние годы вызывают все больший интерес противовирусные пептиды, выделенные из природных источников, поскольку они являются высокоспецифичными и обладают активностью широкого спектра действия и минимум побочных эффектов. Так, благодаря общим структурным особенностям, включая амфипатическую структуру и катионный заряд, пептиды животного происхож-

дения участвуют в ряде различных аспектов врожденного иммунитета у млекопитающих [12].

Следует отметить, что из-за участившихся сообщений о вирусной резистентности, сопутствующих инфекциях и возникновении вирусных эпидемий, доступные противовирусные препараты демонстрируют низкую эффективность или вообще не эффективны, соответственно, производство новых методов лечения с использованием противовирусных пептидов является важной задачей [13].

Исследования пептидов, синтезированных рибосомами и пост-трансляционно-модифицированных (ribosomally synthesized and post-translationally modified peptides, RiPPs), ввиду сильной противовирусной активности и высокой стабильности в последние несколько десятилетий достаточно актуальны. Пептиды с противовирусной активностью, особенно против вирусов, находящихся в оболочке, в настоящее время вызывают все больший интерес. RiPPs имеют ряд преимуществ перед низкомолекулярными противовирусными препаратами с точки зрения специфичности и сродства к мишениям, а также перед препаратами на основе белка за счет высокой проницаемости через мембрану клеток, стабильности и малого размера. Более того, достаточный инженерный потенциал RiPPs обеспечивает эффективный способ их оптимизации в качестве действенных противовирусных препаратов. Эти неотъемлемые преимущества подчеркивают положительные терапевтические перспективы использования RiPPs в лечении вирусных инфекций [14].

Количество пептидов с противовирусным действием ограничено, однако такие пептиды уже продемонстрировали огромный потенциал противовирусного эффекта и могут быть доступными в составе пищевой продукции [15].

Пептиды являются перспективным противовирусным агентом, способным действовать на более чем одно вирусное семейство [16]. Такие пептиды ингибируют проникновение неродственных вирусов в оболочки клетки, соответственно, обладают широким спектром действия, что обусловлено межфазной активностью. Эти пептиды в некоторой степени гидрофобны и амфипатичны, со склонностью взаимодействовать с межфазными зонами липидных бислойных мембран клеток. Межфазная активность имеет прямую корреляцию с противовирусной активностью широкого спектра действия. Авторами Hoffmann et al. [17] изучена способность нескольких семейств пептидов расщепляться и нарушать при этом целостность мембранны. Пептиды

**ПОЛИПЕПТИД МОЛОЗИВА КОРОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ
ИНГРЕДИЕНТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ
ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ**

были протестированы на способность ингибиовать множество разнообразных вирусов, покрытых оболочкой. Установлено, что различные семейства межфазно-активных пищевых пептидов вызывали сильное ингибирование всех оболочечных вирусов, протестированных в низких и субмикромолярных концентрациях, значительно ниже диапазона, в котором они токсичны для клеток млекопитающих. Эти мембраноактивные пептиды блокируют поглощение и слияние с клеткой-хозяином, быстро и непосредственно взаимодействуя с вирионами, дестабилизируя вирусную оболочку и стимулируя агрегацию вируса и/или слияние межвирионной оболочки.

В связи с вышеизложенным, целью представленной работы являлось исследование воздействия пептида, выделенного из трипсинового гидролизата молозива коров, на интеграцию в геном и проникновение в мембрану лентивирусных частиц как потенциального противовирусного компонента продуктов профилактического назначения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования является полипептид, условно названный нами mрT и состоящий из 49 аминокислотных остатков M H N N NE TN S AS NT V NHTV TPF K IS SH KHIRTR TK KNEGKA GT ILS TALT R с молекулярной массой 18 кДа. Полипептид был выделен после осаждения белков молозива коров сульфатом аммония и центрифугированием при 3900 об/мин. Согласно базе данных Mascot, опции Peptide Fingerprint («Matrix Science», США) и базе данных Protein NCBI, выделенный полипептид имеет структурное сходство с пептидом «CO950255 protein, susscrofa» биологические функции, которого не исследованы во всех направлениях.

Моделирование пространственной структуры выделенного пептида осуществляли с помощью программы молекулярного моделирования Schrodinger Maestro (США).

При определении противовирусной активности пептида в качестве модельного объекта использовали клеточные линии C6 (ATCC CCL-107™), чей пассаж не превышал 15 на время проведения экспериментальных работ, и HEK 293T (ATCC CRL-3216™), чей пассаж не превышал 20 на время проведения экспериментальных работ. Для культивирования использовали среду DMEM (Gibco, США), добавляли до конечного объема 10 % Fetal Bovine Serum (FBS) (Capricorn, США), 1 % Sodium Pyruvate (Gibco, США), 1 % Gluta MAX (Gibco, США), 1 % Penicillin / Streptomycin (Gibco, США). Клетки

хранили в СО₂-инкубаторе при следующих условиях: СО₂ – 5 %, влажность – 95 %. За две недели до начала проведения эксперимента клетки проверяли на наличие микоплазмы набором Myco Report (ЕвроГен, Россия).

Далее проводили сборку лентивирусных частиц. Клетки HEK 293T рассаживали в чашку Петри диаметром 100 мм (Eppendorf, Германия). По достижении конфлюэнтности 65–70 % клетки трансфектировали плазмидами pLenti6-GFP (Addgene #35637), psPAX2 (Addgene # 12260), pVSV-G (Addgene #138479) в количестве 7 мкг, 9 мкг и 15 мкг соответственно для сборки лентивирусов. Культуральную среду заменили на 3 мл OPTI-MEM (Gibco, США). Далее клетки помещали в СО₂-инкубатор на 30 минут. За это время подготавливали пробирки со смесью pLenti6-GFP, psPAX2, pVSV-G, OPTI-MEM и Turbo Fect (Invitrogen, США), OPTI-MEM. Объемы смешиваемых компонентов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Смешиваемые компоненты и их объемы для сборки лентивирусных частиц

Table 1 - Mixable components and their volumes for the assembly of lentiviral particles

	Плазмиды + OPTI-MEM	TurboFect + OPTI-MEM
pLenti6-GFP	7 мкг (2 мкл)	Компонент не использован
psPAX2	9 мкг (2 мкл)	Компонент не использован
pVSV-G	15 мкг (5 мкл)	Компонент не использован
TurboFect	Компонент не использован	5 мкл
OPTI-MEM	Довести до 500 мкл	Довести до 500 мкл

Содержимое пробирки инкубировали при комнатной температуре в течение 10 минут, смешивали, тщательно ресуспенсировали и инкубировали при комнатной температуре в течение 15 минут. После чего во флаконы с HEK293T добавляли содержимое пробирок, флаконы помещались в инкубатор на 12 часов. Спустя 12 часов в пробирки добавляли культуральную среду. Через 48 часов среду собирали в отдельную пробирку и пропускали через фильтр 0,45 мкм. После этого фильтрат центрифугировали в центрифуге Optima XPN (Beckman Coulter, США) при ускорении 100000 g в течение 2-х часов и температуре 4 °C. Далее надосадочную жидкость убирали, а осадок в виде лентивирусных частиц растворяли в 1xPBS (pH = 7,4) и помещали в морозильную камеру при минус 80 °C. Затем проводили оценку интернационализации лентивируса.

За 24 часа до эксперимента клетки линии C6 рассаживали в 12-луночный планшет в ко-

личестве 100000 на лунку. К клеткам добавляли раствор лентивирусных частиц (MOI = 50), реагент для усиления трансдукции Polybrene (1000x) (Merck, США) и пептид (конечная концентрация была равна ИД50, установленной ранее). Спустя трое суток клетки обрабатывали трипсином и снимали с культуральной посуды и растворяли в PBS (рН 7,4), после чего проводили анализ интернационализации лентивируса на проточном цитометре FACS Aria (BD, США). Производили отбор одиночных событий на графике FSC-H/FSC-A, затем отобранные события анализировались на графике GFP-logA/SSC-A с целью определения GFP-положительных событий, соответствующих джезикулам, проникнувшим в мембрану и цитоплазму.

Следующим этапом исследования стало определение оценки взаимодействия с рецепторами для проникновения вируса в мембрану. Клетки HEK 293T рассаживали в культуральный флакон T25 (Eppendorf, Германия). По достижении конфлюэнтности 65-70 % клетки трансфектировали плазмидами pLenti-GFP и pVSV-G (Addgene #138479) в количестве 7 мкг и 15 мкг соответственно для сборки джезикул по протоколу. Культуральную среду заменили на 3 мл OPTI-MEM (Gibco, США). Далее клетки помещали в CO₂-инкубатор на 30 минут. За это время подготавливали пробирки со смесью pLenti-GFP, pVSV-G, OPTI-MEM и Turbo Fect (Invitrogen, США), OPTI-MEM (объемы и концентрации смешиаемых компонентов представлены в таблице 1). Пробирки инкубировали при комнатной температуре в течение 10 минут. Далее содержимое пробирок смешивали, тщательно ресуспенсировали и инкубировали при комнатной температуре в течение 15 минут. После чего во флаконы с HEK293T добавляли содержимое пробирок и помещали в инкубатор на 12 часов.

Через 12 часов среду заменили на культуральную среду, после 48 часов среду собирали в отдельную пробирку и пропускали через фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. После чего фильтрат центрифугировали в центрифуге OptimaXPN (Beckman Coulter, США) при 100000 об/мин в течение 2-х часов и температуре 4 °C. Далее надосадочную жидкость

убирали, а осадок в виде лентивирусных джезикул растворяли в 1xPBS при рН7,4, затем помещали в морозильную камеру при температуре минус 80 °C.

Клетки линии С6 размораживали и рассаживали в планшеты в количестве 8*10⁵ клеток на лунку. Через 24 часа к клеткам в присутствии фракции пептида добавляли лентивирусные джезикулы для оценки соединения с рецепторами клеточной мембранны клеток С6. Затем один из планшетов помещали в холодильник при температуре 4 °C, а другой – в CO₂-инкубатор. Содержимое планшетов инкубировали в течение 24 часов.

По истечении этого времени клетки с обоих планшетов обрабатывали трипсином и снимали с поверхности лунок. Снятые клетки центрифугировали при 2500 об/мин в течение 5 минут. После чего проводили анализ на проточном цитометре FACS Aria (BD, США). Сначала производили отбор одиночных событий на графике FSC-H/FSC-A, затем отобранные события анализировали на графике GFP-logA/SSC-A с целью определения GFP-положительных событий, соответствующих джезикулам, проникнувшим в мембрану и цитоплазму.

Результаты статистической обработки эффективности трансдукции и проникновения в цитоплазму представлены в виде столбчатой диаграммы, с указанными СО; анализ различий был сделан с помощью алгоритмов one-way ANNOVA и two-way ANNOVA соответственно. Достоверным считалось различие $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Так как функции полипептида mpT не изучены, одним из направлений наших исследований было моделирование пространственной структуры, т.е. количественное соотношение структурной активности (QSAR). Благодаря данному информационному инструменту можно предсказать активность молекулы на основе ее молекулярных особенностей.

На рисунках 1 и 2 представлены пространственная 2D-структура и 3D-структура полипептида mpT.

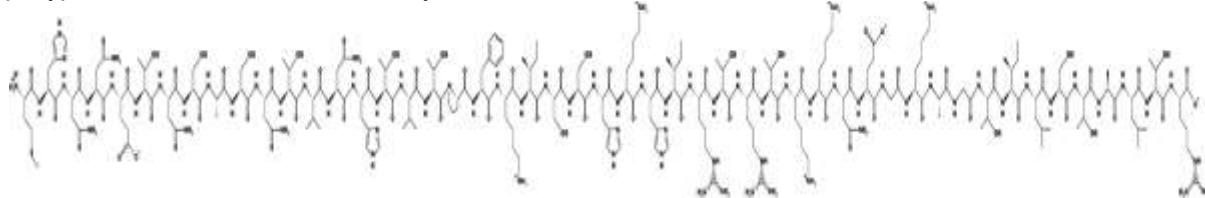


Рисунок 1 – Пространственная 2D-структура полипептида mpT

Figure 1 - Spatial 2D-structure of the mpT polypeptide

ПОЛИПЕПТИД МОЛОЗИВА КОРОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ
ИНГРЕДИЕНТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ
ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ

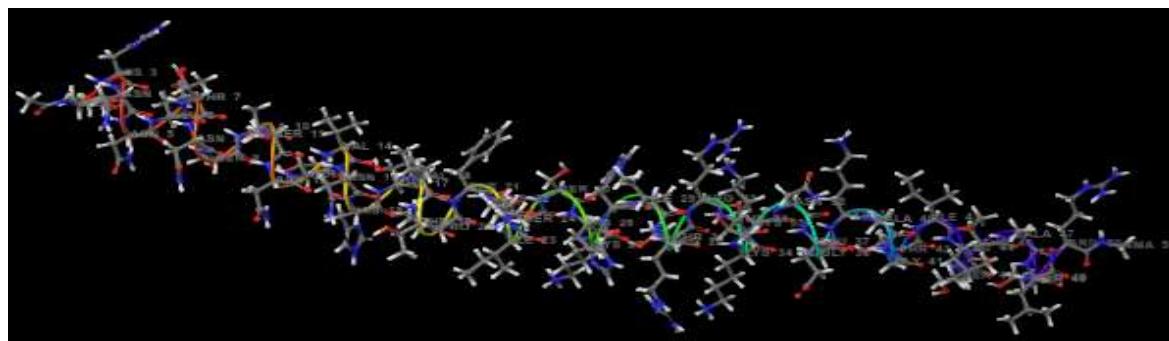


Рисунок 2 – Пространственная 3 D-структура полипептида mpT

Figure 2 - Spatial 3D-structure of the mpT polypeptide

Анализ смоделированной пространственной структуры пептида, выделенного из ферментированного молозива, позволил установить, что аминокислотные последовательности исследуемых образцов формируют вторичные структуры – преимущественно альфа-спираль, так как в их составе отсутствуют в большом количестве ароматические остатки аминокислот.

Установлено, что изоэлектрическая точка полипептида находится в сильнощелочной среде (рН 11,7). Изоэлектрическая точка не зависит от количества аминокислот, а зависит от преобладания аминных или карбоксильных групп в составе пептида. Результаты моделирования структуры пептида позволили определить уровень гидрофильности, который составляет $+48,34 \text{ ккал}\cdot\text{моль}^{-1}$. Высокая гидрофильность выделенного пептида связана с большим количеством атомов водорода в молекуле, что обеспечивает ей связывание с несколькими молекулами воды. Такой эффект называют «водяное облако», он приводит к увеличению гидродинамического радиуса, способствующего

повышению растворимости и биодоступности пептида. Следует отметить, что «водяное облако» защищает пептид от защитных белков организма, например, антител, комплементов и др. Соответственно, высокая гидрофильность выделенного пептида защищает его от опсонизации фаго- и эндоцитоза. Полученные данные о гидрофильности пептида mpT позволяют предположить, что он может прикрепляться или проникать в клетку, минуя защиту организма «свой–чужой», что способствует повышению его способности ингибировать вирусы на поверхности или внутри клетки.

Изучение трехмерной модели пептида mpT позволило установить, что он обладает высокой химической активностью, так как его заряд равен +6, а это способствует усилиению взаимодействия с атомами клетки и лизису вирусных ДНК и РНК.

В ходе проведения исследований показано, что фракция полипептида mpT снижает эффективность трансдукции лентивирусных частиц.

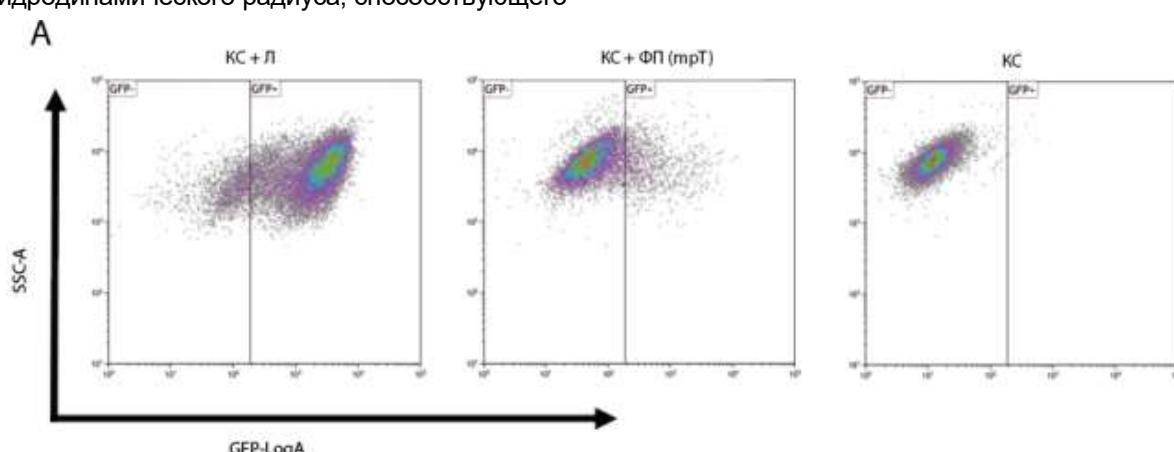


Рисунок 3 – График SSC-A/GFP-logA, где КС – культуральная среда (контроль), КС + ФП – культуральная среда с добавлением фракции mpT и лентивирусных частиц (образец), КС + Л – культуральная среда с добавлением лентивирусных частиц (положительный контроль)

Figure 3 - SSC-A/GFP-logA plot, where CM is the culture medium (control), CM + FP is the culture medium with the addition of the mpT fraction and lentiviral particles (sample), CM + L is the culture medium with the addition of lentiviral particles (positive control)

Трансдукция лентивирусных частиц показала наличие эффекта, наблюдаемого как уменьшение количества трансдуктированных клеток по наличию в них экспрессии зелёного флуоресцентного белка (Greenfluorescentprotein, GFP). Схожее расположение событий относительно оси SSC-A (рисунок 3) в ходе всего анализа указывает на возможность сопоставления полученных данных.

Эффективность трансдукции в присутствии пептида в сравнении с контролем уменьшилась на 81 % ($p < 0,0001$, рисунок 4).

Полученные данные согласуются с исследованиями Vanzolinietal. [18], доказавшими, что противовирусные пептиды обычно действуют внутриклеточно, например, на биосинтез белка или репликацию ДНК, и могут влиять на несколько этапов жизненного цикла вируса, начиная от взаимодействия вирусных рецепторов с клетками и заканчивая почкованием.

Таким образом, с помощью проточной цитометрии был проанализирован эффект проникновения в мембрану собранных джезикул,

что позволяет оценить исследуемый эффект на основании детекции GFP сигнала.

В присутствии полипептида mpT эффективность проникновения значительно уменьшилась, что следует из графиков SSC-A/GFP-logA (рисунок 5).

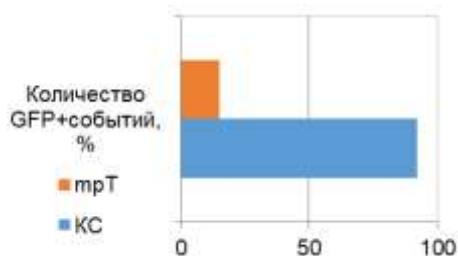


Рисунок 4 – Статистическая обработка количества GFP+ клеток ($KT=15,72 \pm 4,176$, $T1.1=52,17 \pm 3,868$, $KC=90,40 \pm 2,476$), где KC – культуральная среда с добавлением лентивирусных частиц ($p < 0,0001$)

Figure 4 - Statistical processing of the number of GFP+ cells ($KT=15.72 \pm 4.176$, $T1.1=52.17 \pm 3.868$, $KC=90.40 \pm 2.476$), where KC is the culture medium with the addition of lentiviral particles ($p < 0,0001$)

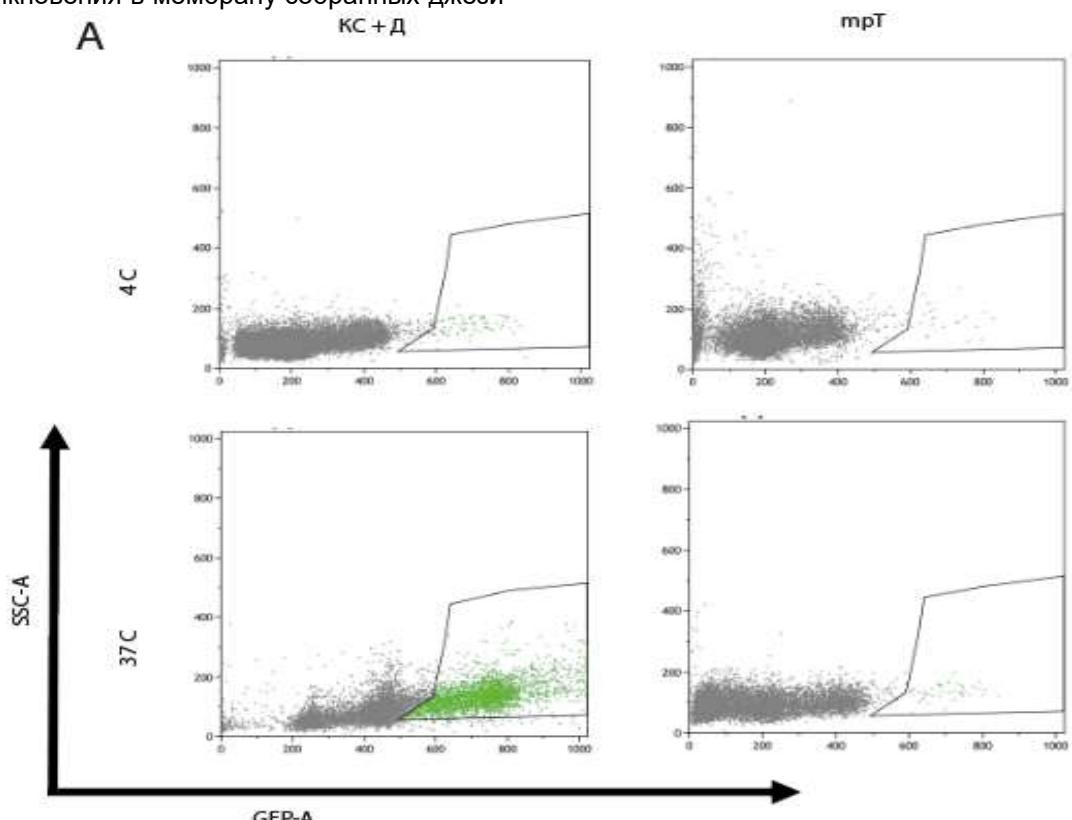


Рисунок 5 – Динамика связывания с рецепторами и проникновения в мембрану лентивирусных джезикул, выявленная с помощью метода проточной цитометрии благодаря детекции GFP-сигнала, где mpT – фракции пептидов, KC – культуральная среда, KC + Д – культуральная среда с лентивирусными джезикулами

Figure 5 - Dynamics of binding to receptors and penetration into the membrane of lentiviraljesicles using the flow cytometry method due to the detection of the GFP signal, where mpT - peptide fractions, CM is the culture medium, CM + D is the culture medium with lentiviraljesicles

ПОЛИПЕПТИД МОЛОЗИВА КОРОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИНГРЕДИЕНТ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ

Статистическая обработка подтвердила, что связывание лентивирусов с рецепторами клетки при инкубировании с фракциями пептидами при температуре 4 °C не происходит. При культивировании клеток при температуре 37 °C в значительной степени уменьшилось общее количество GFP внутри клетки, вследствие чего можно предположить, что пептид ингибирует проникновение вируса через мембрану в клетку (рисунок 6).

Можно предположить, что противовирусные свойства пептида mpT связаны с наличием в исходном молозиве белка лактоферина (Lf), обладающего противовирусными свойствами и расщепляющегося в результате ферментативного гидролиза до пептидов-лактоферрицинов (Lfcins) и других пептидов, способных инактивировать вирусы.

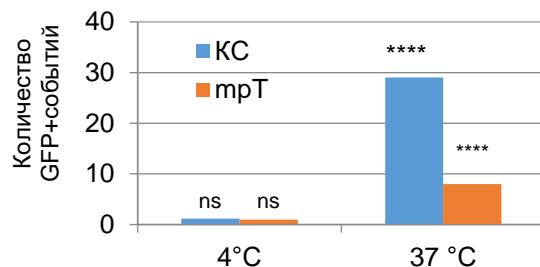


Рисунок 6 – Сравнение эффективности проникновения джезикул в мембрану клетки, где mpT – фракции пептидов, KC – культуральная среда (ns – незначительные отличия, $p > 0,05$; **** $p < 0,0001$, статистическая обработка методом two-way ANNOVA)

Figure 6 - Comparison of the efficiency of the penetration of the vesicles into the cell membrane, where mpT - fraction of peptides, KC - culture medium (ns - no significant differences, $p > 0.05$; **** - $p < 0.0001$, statistical processing by two- way ANNOVA)

Полученные данные согласуются с исследованиями Zarzosa-Moreno et al. [19], в которых доказано, что в молозиве имеются молекулы (Lf), Apo-Lf, не содержащие железо, но способные захватывать трехвалентное железо, блокируя при этом доступность железа хозяина для патогенов.

Apo-Lf обладает бактерицидным действием, в основном, благодаря своему взаимодействию с микробной поверхностью, вызывая повреждение мембраны и изменяя ее проницаемость. Lf может ингибировать проникновение вируса путем связывания с клеточными рецепторами или вирусными частицами. Lf также способен противостоять различным механизмам заражения и проникновения в организм хозяина, вырабатываемым микробными патогенами, таким как прилипание, колонизация,

инвазия, образование биопленок и выработка факторов вирулентности, таких как протеазы и токсины. Lf также может вызывать митохондриальную и каспазо-зависимую регулируемую гибель клеток и апоптоз. Все эти механизмы являются важными мишениями для лечения Lf заболеваний вирусной этиологии.

Насыщенная железом молекула Holo-Lf может содержать до двух ионов железа. Holo-Lf может быть бактерицидной против некоторых патогенов. Лактоферрицины (Lfcins) представляют собой пептиды, полученные из N-конца Lf, которые продуцируются путем протеолиза с пепсином или другими ферментами в условиях кислой среды. Они проявляют мощные антимикробные свойства. Важно отметить, что нет опубликованных исследований о патогенах, устойчивых к Lf и Lfcins. Lf и Lfcins показали синергетический эффект с противомикробными и противовирусными препаратами. Благодаря свойствам Lf, являющимся микробиостатическими, бактерицидными, противовоспалительными и иммуномодулирующими, белок представляет собой отличную естественную альтернативу как самостоятельно, так и в качестве вспомогательного средства в борьбе с бактериями с множественной лекарственной устойчивостью к антибиотикам и другими патогенами [19].

Полученные данные об ингибировании интернализации лентивирусных частиц в мембрану и геном клетки пептидом молозива согласуются с результатами исследований Wangetal. [20], в которых доказано, что пептиды способны эффективно блокировать заражение псевдовирусом до 50 % путем ингибирования связывания клеточных линий хозяина с белком S1, о чем свидетельствуют результаты вестерн-блоттинга и анализа псевдовирусной люциферазы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследований можно предположить, что исследуемый пептид относится к мембраноактивным противовирусным пептидам, которые специфически ингибируют слияние мембран вируса и клетки-хозяина. Установлено, что выделенный из молозива коров пептид mpT быстро и непосредственно взаимодействует с вирионами, дестабилизируя вирусную оболочку и стимулируя агрегацию вируса и/или слияние межвирионной оболочки. С учетом ранее проведенных нами исследований, свидетельствующих о том, что пептид mpT не обладает цитотоксичностью, токсичностью, а также новыми полученными структурно-молекулярными и противовирусными характеристиками пептида можно рекомендовать использовать mpT для разработки, опти-

мизации или создания новых пищевых продуктов противовирусной направленности с широким спектром действия. При этом следует отметить, что существует огромный пробел в знаниях в отношении токсичности, аллергенности, стабильности, биодоступности и эффективности биопептидов в составе продуктов функционального назначения, особенно в экспериментах *invivo*. Получение таких знаний позволит научно обосновать роль продуктов питания, обогащенных биопептидами в здоровье человека и, соответственно, коммерциализовать такие пищевые продукты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Park, Y.W. & Nam, M.S. (2015). Bioactive peptides in milk and dairy products: A review. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 35 (6), 831–840, <https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.6.831>.
2. Giacometti, J. & Buretić-Tomljanović, A. (2017). Peptidomics as a tool for characterizing bioactive milk peptides. *Food Chemistry*, 230, 91–98, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.016>.
3. Homayouni-Tabrizi, M., Asoodeh, A. & Soltani, M. (2017). Cytotoxic and antioxidant capacity of camel milk peptides: Effects of isolated peptide on superoxide dismutase and catalase gene expression. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(3), 567–575, <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.10.014>.
4. Kocak, A., Sanli, T., Anli, E.A. & Hayaloglu, A.A. (2020). Role of using adjunct cultures in release of bioactive peptides in white-brined goat-milk cheese. *Lwt*, 123 (February), 109127, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109127>.
5. Buttar, H.S., Bagwe, S.M., Bhullar, S.K. & Kaur, G. (2017). Health benefits of bovine colostrum in children and adults. *Academic*, 3–20, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809868-4.000017>.
6. Gruden, Š., Poklar, U. Diverse Mechanisms of Antimicrobial Activities of Lactoferrins, Lactoferricins, and Other Lactoferrin-Derived Peptides. *Int J Mol Sci*. 2021; 22(20):11264.
7. Sienkiewicz, M., Szymańska, P. & Fichna, J. (2021). Supplementation of bovine colostrum in inflammatory bowel disease: Benefits and contraindications. *Advances in Nutrition*, 12 (2), 533–545.
8. Wakabayashi, H., Oda, H., Yamauchi, K. & Abe, F. (2014). Lactoferrin for prevention of common viral infections. *Journal of Infection and Chemotherapy*, 20 (11), 666–671, [https://doi.org/10.1016/j.jiac.2014.08.003 PMID: 25182867](https://doi.org/10.1016/j.jiac.2014.08.003).
9. Silva, E., Rangel, A., Mürmann, L., Bezerra, M.F. & Oliveira, J.P.F.D. (2019). Bovine colostrum: Benefits of its use in human food. *Food Science and Technology*, 39, 355–362, <https://doi.org/10.1590/fst.14619>.
10. Ibrahim, H.R., Isono, H. & Miyata, T. (2018). Potential antioxidant bioactive peptides from camel milk proteins. *Animal Nutrition*, 4(3), 273–280, <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.05.004>.
11. Kumar, D., Chatli, M.K., Singh, R., Mehta, N. & Kumar, P. (2016). Antioxidant and antimicrobial activity of camel milk casein hydrolysates and its fractions. *Small Ruminant Research*, 139, 20–25, <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.05.002>.
12. Brice, D. & Diamond, G. (2020). Antiviral Activities of Human Host Defense Peptides. *Curr Med Chem.*; 27 (9):1420–1443.
13. Heydari, H., Golmohammadi, R., Mirnejad, R., Tebyanian, H., Fasihi-Ramandi, M. & Moghaddam, M. (2021). Antiviral peptides against Coronaviridae family: A re-view. *Peptides*. 139. 170526.
14. Fu, Y., Jaarsma, A.H. & Kuipers, O.P. (2021). Antiviral activities and applications of ribosomally synthesized and post-translationally modified peptides (RiPPs). *Cell Mol Life Sci.*; 78(8): 3921–3940.
15. Ashaolu, T., Nawaz, A., Walayat, N. & Khalifa, I. (2021). Potential "biopeptidal" therapeutics for severe respiratory syndrome coronaviruses: a review of antiviral peptides, viral mechanisms, and prospective needs. *Appl Microbiol Biotechnol.* 105(9). 3457–3470.
16. Zannella, C., Chianese, A., Palomba, L., et al. (2022). Broad-Spectrum Antiviral Activity of the Amphibian Antimicrobial Peptide Temporin L and Its Analogs. *Int J Mol Sci.* 23(4). 2060.
17. Hoffmann, A.R., Guha, S., Wu, E., et al. (2020). Broad-Spectrum Antiviral Entry Inhibition by Interfacially Active Peptides. *J Virol.* 94(23).e01682-20.
18. Vanzolini, T., Bruschi, M., Rinaldi, A.C., Magnani, M., Fraternali, A. (2022). Multitalented Synthetic Antimicrobial Peptides and Their Antibacterial, Antifungal and Antiviral Mechanisms. *Int J Mol Sci.*; 23(1):545.
19. Zarzosa-Moreno, D., Avalos-Gómez, C., Ramírez-Texcalco, L., et al. (2020). Lactoferrin and Its Derived Peptides: An Alternative for Combating Virulence Mechanisms Developed by Pathogens. *Molecules*. 25(24). 5763.
20. Wang, T., Fang, X., Wen, T., et al. (2021). Synthetic Neutralizing Peptides Inhibit the Host Cell Binding of Spike Protein and Block Infection of SARS-CoV-2. *J Med Chem.* 64(19). 14887–14894.

Информация об авторах

С. Л. Тихонов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии Уральского государственного экономического университета.

И. М. Чернуха – доктор технических наук, профессор, академик РАН, гл. научный сотрудник Экспериментальной клиники-лаборатории биологически активных веществ животного происхождения Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова.

Information about the authors

S.L. Tikhonov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Engineering of the Ural State University of Economics.

I.M. Chernukha - Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Experimental Clinic-Laboratory of Biologically Active Substances of Animal Origin of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova.

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

Статья поступила в редакцию 20.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 20 Jan 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



РАЗРАБОТКА МАЙОНЕЗА, СБАЛАНСИРОВАННОГО ПО ЖИРНОКИСЛОТНОМУ СОСТАВУ

Анастасия Викторовна Терёхина ¹, Екатерина Юрьевна Желтоухова ²,

^{1, 2}, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Россия

¹ gorbatova.nastia@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

² katsturova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7463-9013>

Аннотация. В рационе питания современного человека прослеживается дефицит полиненасыщенных жирных кислот групп ω -3 и ω -6, в частности из-за невозможности синтезировать эти жирные кислоты организмом самостоятельно – они поступают в организм только в составе продуктов питания. Майонез является одним из продуктов, который ежедневно употребляется практически каждой российской семьей. Основой всех майонезов служат растительные масла, имеющие в своем составе эсценциальные жирные кислоты. В процессе работы рассчитана рецептура майонеза, обогащенного полиненасыщенными жирными кислотами, благодаря введению в состав купажа растительных масел. Обосновано введение каждой из рецептурных составляющих. В данной статье проведен хроматографический анализ майонезной эмульсии, произведенной по предлагаемой рецептуре. Установлено соотношение полиненасыщенных жирных кислот групп ω -3 и ω -6 в полученном образце продукта и обоснована перспектива использования данной эмульсии в качестве функционального жирового продукта, имеющего сбалансированный жирнокислотный состав. Установлено, что в целях получения функциональных продуктов с повышенным содержанием ненасыщенных жирных кислот рационально использовать рапсовое, кукурузное масло и масло грецкого ореха, ввиду высокого содержания в них эсценциальных жирных кислот, наиболее ценных для организма человека. Соотношение ω -3 и ω -6 жирных кислот составило 1:5, что дает возможность отнести полученный продукт к функциональным. Полученный образец майонеза удовлетворяет суточную потребность в них примерно на 73 % для женщин 18–29 лет; и на 59 % для мужчин 18–29 лет (если продукт употреблять в количестве 50 грамм в сутки). Органолептические показатели готового продукта соответствуют стандарту, используемому для характеристики майонезной продукции в РФ.

Ключевые слова: эмульсия, майонез, жирные кислоты, функциональный продукт, сбалансированный, хроматограф, хроматограмма, ω -3, ω -6, рапсовое масло, кукурузное масло, масло грецкого ореха.

Для цитирования: Терёхина А. В., Желтухова Е. Ю. Разработка майонеза, сбалансированного по жирнокислотному составу // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 123–128. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.015. EDN: <https://elibrary.ru/NLRHNE>.

Original article

DEVELOPMENT OF BALANCED MAYONNAISE BY FATTY ACID COMPOSITION

Anastasiya V. Terekhina ¹, Ekaterina Y. Zheltoukhova ²

^{1, 2} Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

¹ gorbatova.nastia@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

² katsturova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7463-9013>

Abstract. In the diet of modern man, there is a deficiency of polyunsaturated fatty acids of the groups ω -3 and ω -6, in particular due to the inability of the body to synthesize these fatty acids independently - they enter the body only as part of food. Mayonnaise is one of the products that almost every Russian family uses every day. The basis of all mayonnaise is vegetable oils, which contain essential fatty acids. In the course of the work, the formulation of mayonnaise enriched with polyunsaturated fatty acids was calculated by introducing vegetable oils into the mixture. The introduction of each of the prescription components is justified. In this article, a chromatographic analysis of the mayonnaise emulsion obtained according to the proposed formulation is carried out. The ratio of polyunsaturated fatty acids of groups ω -3 and ω -6 in the resulting product sample was established and the prospects of using this emulsion as a functional fat product with a balanced fatty acid composition were substantiated. It has been established that to obtain functional products with a high content of unsaturated fatty acids, it is rational to use rapeseed, corn oil and walnut oil, due to the high content of polyunsaturated fatty acids in them, the most valuable for the human body. The ratio of omega-3 and omega-6 fatty acids was 1:5, which makes it possible to classify the resulting product as functional. The resulting sample of mayonnaise satisfies the daily need for them by about 73% for women aged 18-29 years; and 59% for men aged 18-29 years (if the product is consumed in an amount of 50 grams per day). The organoleptic characteristics of the finished product correspond to the standard used to characterize mayonnaise products in the Russian Federation.

Keywords: emulsion, mayonnaise, fatty acids, functional product, balanced, chromatograph, chromatogram, ω -3, ω -6, rapeseed oil, corn oil, walnut oil.

For citation: Terekhina, A.V. & Zheltoukhova, E.Y. (2023). Development of balanced mayonnaise by fatty acid composition. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 123-128. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.015. EDN: <https://elibrary.ru/NLRHNE>.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей из задач пищевой промышленности является производство безопасной и качественной продукции [1].

Неправильное питание населения приводит к снижению функциональной активности пищеварительной системы организма человека, нарушению липидного обмена и как следствие постепенному истощению и появлению соответствующих заболеваний. Для повышения качества питания в его структуру включаются биологически активные добавки, в частности функциональные продукты питания, имеющие обогащенный состав [2, 6-8].

В частности, в рационе питания населения центральной части РФ прослеживается дефицит в потреблении ω -3 жирных кислот, которые являются важным компонентом клеточных мембран организма человека.

Благодаря высокой биологической эф-

фективности растительных масел в рекомендуемых нормах потребления для растительных масел указано 12 кг на одного человека в год. Годовое потребление майонеза в РФ составляет более 5 кг на одного человека, а в европейских странах этот показатель не превышает 2,5 кг. [2, 4, 5].

Согласно исследованиям потребительских предпочтений покупателей, наибольший спрос прослеживается у майонезов с высоким содержанием жира [3].

Цель данной работы – разработка рецептуры майонеза, сбалансированного по жирнокислотному составу. Стояла задача выбрать и обосновать рецептурные ингредиенты, рассчитать их процентный состав, провести опытную выработку продукта и проверить его соответствие заявленным требованиям по сбалансированности состава, по отношению жирных кислот.

МЕТОДЫ

Расчет рецептуры майонеза осуществляли при помощи программного комплекса «ВНИИКП 5.0». Для определения жирнокислотного состава разработанного майонеза, необходимо провести разделение его водной и жировой части в центрифуге, частота вращения составила 7000 мин^{-1} .



Рисунок 1 – Хроматограф «Хромотэк 5000.1»

Figure 1 - Chromatograph "Chromotek 5000.1"

Таблица 1 – Расчет по компонентам

Table 1 - Calculation by components

Время, мин	Компонент	Концентрация, %	Высота, мм	Площадь, мм^2
37,900	C 14:0	0,065	1,944	16,941
41,463	C 16:0	5,811	313,536	1519,836
42,892	C 16:1	0,046	2,125	12,145
43,073	C 16:1	0,218	8,084	57,011
43,804	C 17:0	0,045	1,630	11,898
45,189	C 17:1	0,055	1,861	14,350
45,415	C 17:1	0,058	1,828	15,271
46,353	C 18:0	2,139	85,403	559,384
47,648	C 18:1	0,054	1,198	14,011
48,263	C 18:1	55,250	994,568	14450,218
48,380	C 18:1	2,497	100,832	653,111
50,271	C 18:2	0,144	4,950	37,581
50,522	C 18:2	0,118	5,264	30,916
50,909	C 18:2	25,070	790,474	6556,793
52,254	C 20:0	0,571	20,098	149,352
53,158	C 18:3	0,100	3,089	26,053
53,879	C 20:1	0,101	3,456	26,368
54,108	C 18:3	6,995	249,344	1829,504
59,166	C 22:0	0,270	8,508	70,620
60,856	C 22:1	0,153	4,929	40,074
65,807	C 24:0	0,148	4,657	38,284
67,572	C 24:1	0,094	2,878	24,659

Для исследования жирно-кислотного состава разработанного майонеза использовался газовый хроматограф «Хромотэк 5000.1», колонка SP-2560 (рисунок 1). Чтобы определить содержание каждой из жирных кислот, применялся метод нормализации по площади. Приготовление метиловых эфиров жирных кислот реализовано в соответствии с ГОСТ 31665.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате расчетов получен следующий состав майонеза: масло кукурузное – 19,83 %, масло из семян рапса – 33,06 %, масло ядер грецкого ореха – 13,22 %, яичный желток – 3,52 %, льняная мука – 3,34 %, вода – 23,07 %, мед – 3,33 %, молочная кислота – 0,33 %, соль – 0,3 %.

В таблице 1 приведены результаты расчетов жирных кислот, разработанной рецептуры майонеза, полученные в результате хроматографического анализа.

На рисунке 2 приведена хроматограмма исследуемого образца майонеза.

Таблица 2 иллюстрирует полученный жирнокислотный состав в разработанном продукте.

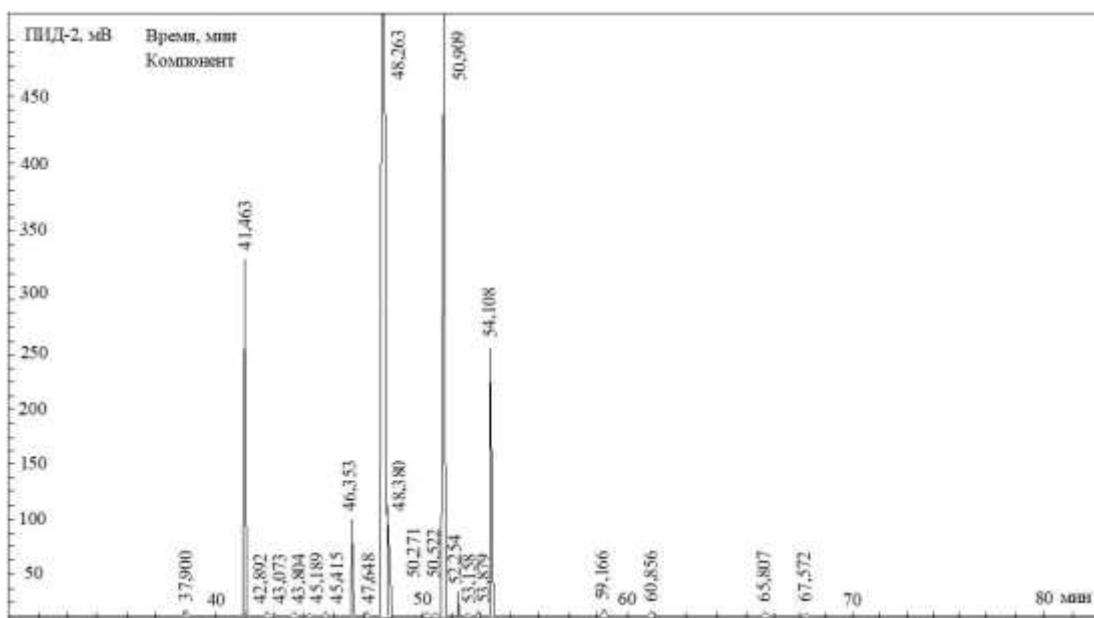


Рисунок 2 – Хроматограмма

Figure 2 - Chromatogram

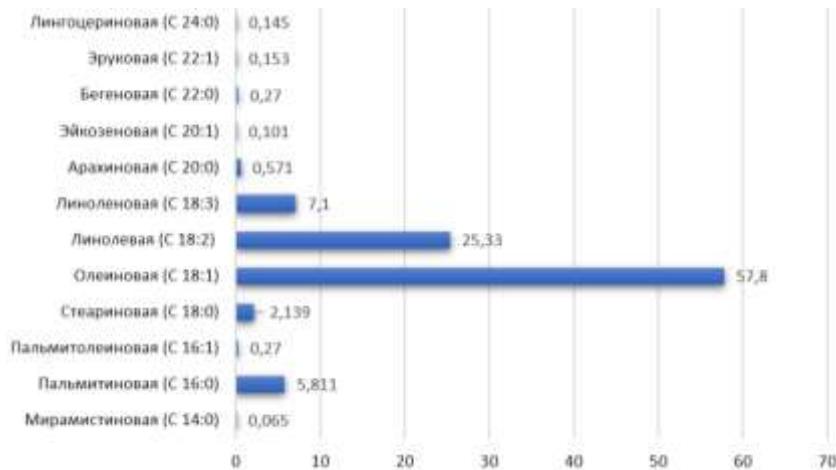


Рисунок 3 – Жирнокислотный состав разработанного майонеза

Figure 3 - Fatty acid composition of the developed mayonnaise

ОБСУЖДЕНИЕ

Большие возможности развития ассортимента майонезов связаны с увеличением их пищевой ценности благодаря регулируемому изменению состава – совершенствованию жировой фазы. Традиционно используемым растительным маслом в составе майонезной продукции является подсолнечное рафинированное дезодорированное. Для производства продукта с оптимизированным соотношение полиненасыщенных жирных кислот были использованы рафинированные рапсовое и кукурузное масла, а также масло грецкого ореха. Они отличаются повышенным

126

содержанием ω -3 и ω -6 жирных кислот и при этом имеют достаточно высокую устойчивость к окислению.

В качестве формирователя текстуры в состав майонеза вошла льняная мука, которая помимо этого содержит в своем составе жирные кислоты, оказавшее влияние на конечный жировой состав продукта. Молочная кислота выполняет роль консерванта, является натуральной и имеет свойства биологически безопасного вещества. Внесение в состав молочной кислоты обеспечивает не только пролонгированный срок хранения, но и приятный вкус и запах продукта. Роль эмульгатора выполняли в составе яичные

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2023

желтки, а в роли подсластителя натуральный мед, имеющий более насыщенный полезными элементами состав, по сравнению с традиционно используемым сахаром.

Анализируя полученный в результате исследования жирнокислотный состав готового продукта, можно сделать вывод о высоком содержании олеиновой мононенасыщенной жирной кислоты (57,8 %) и отнести полученный майонез к высоко олеиновым. Также прослеживается высокое содержание ненасыщенных жирных кислот (С 18:2, С 18:3), которое составило от общего 32 %. Особого внимания заслуживают линолевая и а-линопеновые жирные кислоты, которые относятся к ω -3 на основании которых и проводилась оптимизация состава жировой основы предлагаемого майонеза.

Результаты расчетов рецептуры определили высокую перспективность использования разработанного майонезного продукта как ежедневного источника ω -3 и ω -6 жирных кислот. Данный майонез удовлетворяет суточную потребность в эссенциальных жирных кислотах примерно на 73 % для женщин 18–29 лет; и на 59 % для мужчин 18–29 лет (если продукт употреблять в количестве 50 грамм в сутки). Соотношение групп эссенциальных жирных кислот ω -3 и ω -6 жирных кислот составило 1:5, что дает возможность отнести полученный майонезный продукт к функциональным. В результате анализа органолептических свойств полученного майонеза установлено, что он соответствуют стандарту на майонезную продукцию в РФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом проведенной работы стала рецептура майонеза со сбалансированным жирнокислотным составом, который при регулярном потреблении будет восполнять дефицит ненасыщенных жирных кислот.

Основываясь на проведенном исследовании, можно сделать вывод о том, что в целях получения функциональных продуктов со сбалансированным жирнокислотным составом рационально использовать купаж рапсового, кукурузного масла и масла грецкого ореха, ввиду высокого содержания в них полиненасыщенных жирных кислот, наиболее ценных для организма человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимова Э.И., Сироткин А.С., Сайтова Э.Э. Обоснование и промышленная реализация обработки оборудования острый паром при производстве майонеза // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 1 (79). С. 88–93. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-88-93.

2. Соловьев И.В. Состояние рынка майонеза и перспективы его развития в России // В сборнике: Азия – Россия – Африка: экономика будущего. Материалы IX Евразийского экономического форума молодежи. 2018. С. 206–209.

3. Покровский Н.В., Власова М.В., Пашкевич Л.А. Исследование качества майонеза функционального назначения // Вестник ОрелГИЭТ. 2017. № 2 (40). С. 89–92.

4. Разработка жировой основы майонеза, состоящей из смеси растительных масел / О.С. Омельяненко, Е.В. Задерецкая, А.С. Рожкова [и др.] // В сборнике: Рост и воспроизводство научных кадров в АПК. Сборник трудов по итогам Российской национальной научно-практической интернет-конференции для обучающихся и молодых ученых. 2020. С. 354–358.

5. Николаева М.А., Рязанова О.А. Роль внешней торговли в развитии рынка масложировых продуктов в России // Российский внешнеэкономический вестник. 2018. № 5. С. 66–84.

6. Разработка ресурсосберегающей технологии комплексной переработки масличных культур на сырьевые компоненты / М.В. Копылов [и др.] // Ползуновский вестник. 2019. № 2. С. 7–11. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.02.002

7. Остриков А.Н., Терёхина А.В. Конструктивное оформление и методика расчета процесса получения сливочно-растительных спредов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 2 (76). С. 23–29. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-23-29.

8. Терёхина А.В., Копылов М.В. Жировая основа спредов функционального назначения / В сборнике: Инновационные тенденции развития российской науки. Материалы XV Международной научно-практической конференции молодых ученых. Красноярск, 2022. С. 454–455.

Информация об авторах

А. В. Терёхина – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии жировых процессов и аппаратов химических и пищевых производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

Е. Ю. Желтоухова – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии жировых процессов и аппаратов химических и пищевых производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

REFERENCES

1. Rakhimova, E.I., Sirokin, A.S., Saitova, E.E. (2019). Justification and industrial implementation of equipment processing with hot steam in the production of mayonnaise. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. Vol. 81. No. 1 (79), 88-93. (In Russ.). doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-88-93.
2. Soloviev, I.V. (2018). The state of the mayonnaise market and prospects for its development in Russia. In the collection: *Asia - Russia - Africa: the Economy of the future. Materials of the IX Eurasian Economic Youth Forum*. 206-209. (In Russ.)
3. Pokrovsky, N.V., Vlasova, M.V., Pashkevich, L.A. (2017). Investigation of the quality of functional mayonnaise. *Bulletin of OrelGIET*. No. 2 (40). 89-92. (In Russ.)
4. Omelianenko, O.S., Zaderetskaya, E.V. & Rozhkova, A.S. (2020). Development of a fatty base of mayonnaise consisting of a mixture of vegetable oils. In the collection: *Growth and reproduction of scientific personnel in the agro-industrial complex. Collection of works on the results of the Russian National Scientific and Practical Internet Conference for students and young scientists*. 354-358. (In Russ.)
5. Nikolaeva, M.A., Ryazanova, O.A. (2018). The role of foreign trade in the development of the fatand-oil products market in Russia. *Russian Foreign Economic Bulletin*. No. 5. 66-84. (In Russ.)
6. Kopylov, M.V. Bolgova, I.N., Kleimenova, N.L., Terekhina, A.V. & Zheltoukhova, E.Y. (2019). Development of resource-saving technology for complex processing of oilseeds into raw materials. *Polzunovsky vestnik*. No. 2. 7-11. (In Russ.) doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.02.002
7. Ostrikov, A.N., Terekhina, A.V. (2018). Constructive design and method of calculation of the process of obtaining creamy vegetable spreads // *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018. vol. 80. No. 2 (76). 23-29. (In Russ.) doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-23-29.
8. Terekhina, A.V., Kopylov, M.V. (2022). Fat base of functional spreads. In the collection: *Innovative trends in the development of Russian science. Materials of the XV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Krasnoyarsk*, 454-455. (In Russ.)

Information about the authors

A.V. Terekhina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Fats Processes and Devices of Chemical and Food Production, Voronezh State University of Engineering Technologies.

E.Y. Zheltoukhova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Fats Processes and Devices of Chemical and Food Production, Voronezh State University of Engineering technologies.

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

Статья поступила в редакцию 29.09.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 29 Sep 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



МОНИТОРИНГ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СГУЩЕННОГО МОЛОКА С САХАРОМ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

Александр Геннадьевич Кручинин¹, Елена Евгеньевна Илларионова²,
Светлана Николаевна Туровская³

^{1, 2, 3} ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности»,
Москва, Россия

¹ a_kruchinin@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-3227-8133>

² e_illarionova@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-9390-0984>

³ s_turovskaya@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-5875-9875>

Аннотация. Сгущенное цельное молоко с сахаром является сложной многокомпонентной системой. Оно обладает высокой пищевой ценностью и хранимоспособностью, благодаря чему входит в состав номенклатуры Росрезерва. В связи с этим решение проблем сохранения его качества, выявление пороков и разработка мер их предупреждения, предложение специальных технологических путей пролонгирования хранения является актуальным. Одним из способов увеличения сроков хранения пищевой продукции является использование антиокислителя природного происхождения отечественного производства биофлавоноида дигидрокверцетина. Цель эксперимента заключалась в изучении трансформации структуры сгущенного цельного молока с сахаром в период длительного хранения. Контрольные (без дигидрокверцетина) и опытные (с дигидрокверцетином в количестве 0,2 г на 1000 г жира) образцы исследовали по стандартизованным показателям общепринятыми методами, а также для мониторинга микроструктурных и реологических изменений дополнительно анализировали дисперсность липидной фазы, стойкость образцов к расслоению и загустеванию, определяли степень гомогенизации. Изучение структурообразования опытных образцов на момент окончания хранения (30 месяцев при температуре не выше 10 °C) показал, что средний размер жировых шариков не превышал 1,8 мкм, кристаллов молочного сахара – 4,4 мкм, динамическая вязкость составляла 8,4 Па·с. Результаты прогнозирования тенденции к загустеванию в течение всего срока хранения не превышали нормируемый диапазон и после 30 месяцев значение динамической вязкости составило 14,4 Па·с. Контрольные образцы были сняты с хранения после 18 месяцев из-за низкой органолептической оценки, связанной с выявлением постороннего нечистого привкуса и незначительного изменения цвета.

Ключевые слова: молочные консервы, сгущенное цельное молоко с сахаром, дигидрокверцетин, микроструктурные изменения, расслоение, загустевание, срок годности.

Для цитирования: Кручинин А. Г., Илларионова Е. Е., Туровская С. Н. Мониторинг структурообразования сгущенного молока с сахаром в процессе длительного хранения // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 129–136. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.016. EDN: <https://elibrary.ru/QTVTYG>.

Original article

MONITORING OF THE STRUCTURE FORMATION OF SWEETENED CONDENSED MILK IN THE PROCESS OF LONG-TERM STORAGE

Aleksandr G. Kruchinin ¹, Elena E. Illarionova ², Svetlana N. Turovskaya ³

^{1, 2, 3} All-Russian Dairy Research Institute

¹ a_kruchinin@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-3227-8133>

² e_illarionova@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-9390-0984>

³ s_turovskaya@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-5875-9875>

Abstract. Sweetened condensed whole milk is a complex multi-component system. It has a high nutritional value and storability, due to which it is included in the stock list of Rosrezer. Therefore, solving the problems of preserving its quality, identifying defects and developing measures to prevent them, proposing special technological ways of prolonging storage is urgent. One of the ways to increase the shelf life of foodstuffs is to use the bioflavonoid dihydroquercetin which is of natural origin and produced in Russia. The aim of the experiment was to study the transformation of the structure of sweetened condensed whole milk during long-term storage. Control (without dihydroquercetin) and experimental (with dihydroquercetin in an amount of 0.2 g per 1000 g of fat) samples were studied according to standardized values by conventional methods. Dispersity of lipid phase, resistance of samples to stratification and thickening, the degree of homogenization were also analyzed to monitor microstructure and rheological changes. Analysis of the structure formation of experimental samples at the end of storage (30 months at a temperature no higher than 10 °C) showed that the average size of fat globules did not exceed 1.8 microns, milk sugar crystals - 4.4 microns, the dynamic viscosity was 8.4 Pa·s. The results of the analysis of the tendency to thickening during the entire period of storage did not exceed the normalized range and after 30 months the value of dynamic viscosity was 14.4 Pa·s. The control samples were removed from storage after 18 months due to low organoleptic evaluation associated with the detection of an extraneous unclean taste and slight color change.

Keywords: dairy canned products, sweetened condensed whole milk, dihydroquercetin, microstructural changes, stratification, thickening, shelf life.

For citation: Kruchinin, A.G., Illarionova, E.E. & Turovskaya, S.N. (2023). Monitoring of the structure formation of sweetened condensed milk in the process of long-term storage. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 129-136. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.016. EDN: <https://elibrary.ru/NLRHNE>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перспективным решением одной из задач реализации продовольственной независимости нашей страны, составляющей ее социально-экономическую безопасность, является создание качественных пищевых продуктов и обеспечение ими в соответствии с рациональными нормами потребления населения РФ [1]. В этой связи применительно к молочным консервам актуально не только сохранение их качества и безопасности в установленные сроки годности, но и разработка технологических подходов и решений по пролонгированию хранения при существующих нормированных температурных режимах (не выше 10 °C) или при нерегулируемых условиях, охватывающих широкий низко- либо высокотемпературный диапазоны. Это, в первую очередь, относится

к сгущенному цельному молоку с сахаром, поскольку данный вид консервированной продукции входит в состав номенклатуры государственного резервирования благодаря сочетанию в продукте высокой пищевой ценности, удобству потребления и транспортирования [2].

Одним из способов, обеспечивающих сохранение качества пищевой продукции в течение длительного срока годности, является использование антиокислителей природного (что приоритетнее) или химического происхождения. Одним из антиокислителей, получаемых из растительного сырья (комлевой части сибирской и даурской лиственниц), является дигидрокверцетин (ДК) – уникальный отечественный биофлавоноид (флавонол). Его структурная и эмпирическая формулы представлены на рисунке 1[3].

МОНИТОРИНГ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СГУЩЕННОГО МОЛОКА С САХАРОМ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

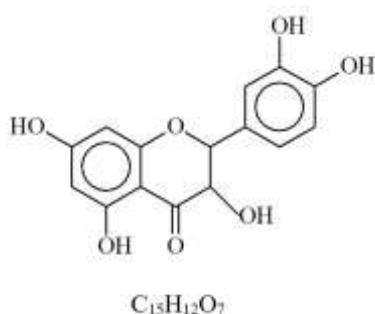


Рисунок 1 – Структурная и эмпирическая формулы дигидрокверцетина [3]

Figure 1 - Structural and empirical formulas of dihydroquercetin [3]

ДК обладает высокой антиоксидантной активностью (превосходящей в десятки раз изученные аналогичные природные антиокислители), широким спектром доказанных фармакологических свойств (гепато-, гастро-, кардио-, радио-, капилляропротекторными, противомикробными, противоонкологическими, иммуномодулирующими), профилактическим и терапевтическим действием при заболеваниях органов дыхания, проявляет гипотензивный и обезболивающий эффект и пр. [4–6]. Особо следует отметить недавние исследования его положительной роли в ингибировании протеазной активности SARS-CoV-2 [6, 7]. Полученные результаты явились основанием широкого применения ДК в различных отраслях пищевой промышленности в качестве пролонгатора сроков годности или для обогащения продуктов питания, т.е. придания им профилактической или лечебной направленности [3, 5, 8, 9]. В 2015 г. на ДК создан межгосударственный стандарт (ГОСТ 33504), в подготовке которого принимали участие специалисты лаборатории молочных консервов ФГАНУ «ВНИМИ». Этим же коллективом проведен пересмотр национальной нормативной документации на молочные консервы, в результате чего разработаны межгосударственные стандарты на молоко сухое, а также молоко и сливки, сгущенные с сахаром, для производства которых в перечень используемого сырья дополнительно включен ДК (чистая массовая доля в препарате должна составлять не менее 90 %) [3, 10]. Исследования, проведенные к тому времени, позволили установить предварительные сроки годности для сухого молока с использованием ДК – 12 мес. (без ДК было регламентировано 8 мес.), для сгущенного цельного молока с сахаром – 18 мес. (без ДК – 15 мес.). При этом следует отметить, что в молочных кон-

сервах кроме окислительных реакций при хранении могут возникать многообразные нежелательные процессы различной природы происхождения. В связи с этим продолжение исследований по изучению физико-химических, биотрансформационных и прочих изменений, происходящих в пролонгированные периоды хранения молочных консервов, является актуальным.

Цель эксперимента заключалась в исследовании процесса структурообразования сгущенного цельного молока с сахаром в период длительного хранения.

Эксперимент являлся частью совместных научно-исследовательских работ, проводимых специалистами ФГАНУ «ВНИМИ» и НИИПХ [11].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследований – промышленно выработанные по технологической инструкции к ГОСТ Р 53436 контрольные и опытные образцы сгущенного цельного молока с сахаром (№ 1 и № 2 соответственно), упакованные в металлические банки массой нетто 400 г. В опытные образцы на этапе нормализации молочной смеси был внесен ДК в количестве 0,2 г на 1000 г содержания жира в продукте (в соответствии с нормой, регламентируемой ТР ТС 029/2012 для ДК при использовании его в качестве антиокислителя). Образцы были проанализированы на соответствие нормам общепринятыми методами, регламентированными ГОСТ Р 53436, и заложены на длительное хранение при температуре не выше 10 °С. Дополнительно для мониторинга микроструктурных, реологических и органолептических изменений исследовали дисперсность липидной фазы микроскопическим методом, прогнозировали стойкость образцов к расслоению и загустеванию, определяли степень гомогенизации по методикам, описанным в [12], органолептические показатели оценивали по 100-балльной шкале с использованием специально разработанной методики, учитывающей коэффициенты весомости каждого показателя и факта выявления недостатка, несоответствия или порока [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование опытных образцов проводили на протяжении 30 месяцев, в течение которых продукт полностью соответствовал требованиям органолептических показателей действующего стандарта на сгущенное цельное

молоко с сахаром. Оценка опытного образца на момент закладки на хранение составляла 100 баллов, через 30 месяцев – 98 баллов. Результаты органолептической оценки контрольного образца, начиная с 18 месяцев хранения, выявили ухудшение вкуса (появление постороннего нечистого привкуса) и незначительное изменение цвета, которые к 23 месяцам значительно повлияли на общую оценку (95 и 69 баллов соответственно) при исходных 98 баллах в свежевыработанном образце. Внешний вид и консистенция контрольных образцов соответствовали стандартным органолептическим характеристикам. Учитывая значимость и первостепенность вкуса при органолептическом анализе, было принято коллегиальное решение о снятии контрольного образца с дальнейшего хранения [11].

В ходе исследований в контрольных и опытных образцах в течение всего срока хранения не обнаружено превышения регламентированных норм наличия потенциально

опасных веществ и микроорганизмов. Значения основных физико-химических показателей (массовые доли влаги, жира, сухого молочного остатка, сахарозы, содержания белка в СОМО, титруемая кислотность, группа чистоты) также находились в пределах стандартизованных норм.

Поскольку сгущенное цельное молоко с сахаром является сложной биологической системой, которая в процессе хранения подвержена воздействию различных негативных процессов микробиологического, физического, химического и пр. происхождения, приводящих к деградации качества (появление посторонних вкуса или запаха, нарушение однородности консистенции и др.) [13, 14], в образцах дополнительно исследованы состояние и дисперсность липидной и углеводной фаз, играющих немаловажную роль в структурообразовании. В таблице 1 представлены результаты микроскопических измерений шариков молочного жира и кристаллов молочного сахара в процессе длительного хранения.

Таблица 1 – Размеры жировых шариков и кристаллов молочного сахара в образцах сгущенного цельного молока с сахаром в процессе длительного хранения

Table 1 - Fat globules and milk sugar crystals size in samples of sweetened condensed whole milk during long-term storage

Образец	Продолжительность хранения, мес.					
	0	6	12	18	24	30
Средние размеры жировых шариков, мкм						
№ 1	1,6	1,9	1,9	1,9	–*	–
№ 2	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8
Средние размеры кристаллов молочного сахара, мкм						
№ 1	3,9	3,7	3,7	3,9	–	–
№ 2	4,3	4,2	4,1	4,3	4,3	4,4
Минимальные размеры кристаллов молочного сахара, мкм						
№ 1	1,5	1,6	1,5	1,7	–	–
№ 2	1,8	2,0	1,6	1,6	1,6	1,6
Максимальные размеры кристаллов молочного сахара, мкм						
№ 1	13,1	13,0	12,0	12,3	–	–
№ 2	9,8	10,2	9,9	11,0	10,6	10,9

* Контрольные образцы сняты с хранения вследствие несоответствия требованиям стандарта по органолептическим показателям (ухудшение вкуса и изменение цвета).

Во всех образцах на протяжении всего периода хранения средние размеры жировых шариков были стабильными и не превышали 2 мкм, что является положительным результатом правильно подобранного режима процесса гомогенизации, используемой для создания стабильной эмульсии и предотвращающей образование свободного жира, который не только способствует возникновению скоплений жировых шариков, приводящих к

ускорению расслоения, но и вызывает окислительную порчу.

На рисунке 1 представлена визуализация микроструктуры жировой фазы. Отчетливо видно, что шарики молочного жира обособлены и изолированы друг от друга за счет покрытия их адсорбционной белково-липидной оболочкой, процесса агрегирования не наблюдается.

МОНИТОРИНГ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СГУЩЕННОГО МОЛОКА С САХАРОМ
В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

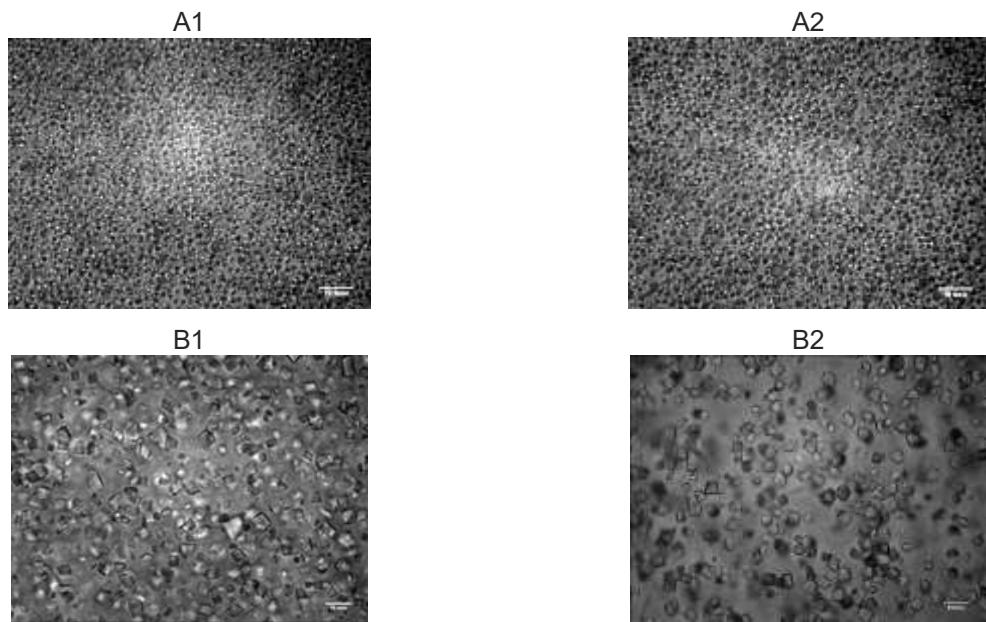


Рисунок 1 – Микроструктура опытных образцов сгущенного цельного молока с сахаром
A1 – дисперсность жировых шариков в свежевыработанном образце;
A2 – дисперсность жировых шариков в образце после 30 мес. хранения;
B1 – вид кристаллов молочного сахара в свежевыработанном образце;
B2 – вид кристаллов молочного сахара в образце после 30 мес. хранения

Figure 1 - Microstructure of experimental samples of sweetened condensed whole milk
A1 - dispersion of fat globules in the freshly produced sample;
A2 - dispersion of fat globules in the sample after 30 months of storage;
B1 - the appearance of milk sugar crystals in the freshly produced sample;
B2 - the appearance of milk sugar crystals in the sample after 30 months of storage

Микроструктуру сгущенного цельного молока с сахаром также формируют кристаллы молочного сахара, размер которых влияет на оценку консистенции готового продукта. Измерение размера кристаллов является одним из нормируемых показателей стандарта. Их допустимая величина на протяжении всего срока годности не должна превышать 15 мкм, что обеспечивает приданье продукту однородной «бархатной» консистенции. В связи с этим в производстве сгущенного цельного молока с сахаром проведение процесса кристаллизации молочного сахара является обязательным технологическим этапом, в результате которого формируется необходимая консистенция – практически без наличия органолептически ощутимых кристаллов (не более 10 мкм) [13]. Данные, приведенные в таблице 1, свидетельствуют, что через 30 месяцев хранения в опытных образцах не только средние размеры кристаллов молочного сахара (4,4 мкм), но и их максимальные величины (10,9 мкм) не превышали допустимой нормы (15 мкм).

Это указывает на изначально правильное проведение процесса кристаллообразования с соблюдением всех необходимых условий при охлаждении готового продукта, что способствовало формированию надлежащей консистенции. Визуализация микроструктуры (рисунок 1) демонстрирует единичные случаи наличия кристаллов молочного сахара с максимальными размерами. Однако после 30 месяцев хранения наблюдается частичная конгломерация кристаллов, которая не повлияла на органолептическое восприятие.

На структурообразование сгущенного цельного молока с сахаром кроме размеров жировых шариков и кристаллов молочного сахара оказывает влияние вязкость системы в целом, значение которой нормировано стандартом в диапазоне от 3 до 15 Па·с. Вязкость зависит от многих условий: рациона кормления коров, сезона года, состава и свойств сырого молока, режимов технологического воздействия на него и пр.

В процессе длительного хранения могут возникать такие пороки физического происхождения, как расслоение и загустевание

[12–14], которые наблюдают не только визуально, но выявляют аналитически, осуществляя также прогнозирование сохранения или незначительного изменения исходной вязкости.

При значениях вязкости менее 3 Па·см^{0.5} может происходить расслоение продукта, т.е. в верхней части тары (металлической банки) будет наблюдаться отстой жира (жиро-белкового слоя), а на ее дне – наличие плотного осадка, состоящего не только из крупных кристаллов молочного сахара, но и с размерами менее 10 мкм. Варьируя режимами гомогенизации, можно добиться предупреждения указанного порока [12, 14]. Эффективность гомогенизации оценивают ее степенью, которая считается достаточной при значениях не менее 80 %. В свежевыработанных образцах (контрольном и опытном) степень гомогенизации составляла 80 %, что в сочетании с первоначальной их вязкостью (рисунок 2) дало основание сделать предположение о хорошей хранимоспособности образцов («со стороны» консистенции), подтвердившееся результатами дальнейших испытаний. Понижение степени гомогенизации при хранении явилось закономерным процессом [12].

На рисунке 2 представлены результаты исследований динамической вязкости, которые свидетельствуют о том, что значения для

контрольных и опытных образцов (без их тепловой обработки) в период длительного хранения не превышали нормированного верхнего предела диапазона (15 Па·с).

За счет создания в процессе хранения более прочной и плотной структуры, что является естественным физико-химическим преобразованием продукта [13, 14], вязкость контрольных образцов повысилась с 5,4 до 7,6 Па·с (в 1,3 раза за 18 мес.), опытных – с 5,2 до 8,4 Па·с (в 1,6 раза за 30 мес.), то есть нежелательная динамика увеличения вязкости более выражена в контрольных образцах (0,13 Па·с/мес.) по сравнению с опытными (0,10 Па·с/мес.).

Загустевание сгущенного цельного молока с сахаром проявляется в повышении вязкости более 15 Па·с. Существенное повышение ее значений приводит к полной потери текучести (более 20–25 Па·с), причинами которой являются повышенное содержание сухих веществ, потеря нативных свойств белка, нарушение солевого баланса и пр. [13].

Мониторинг стойкости к загустеванию заключается в определении динамической вязкости в образцах после кратковременного, но высокотемпературного воздействия на них (100 °C), что приводит к быстрому структурированию молочной системы [12].

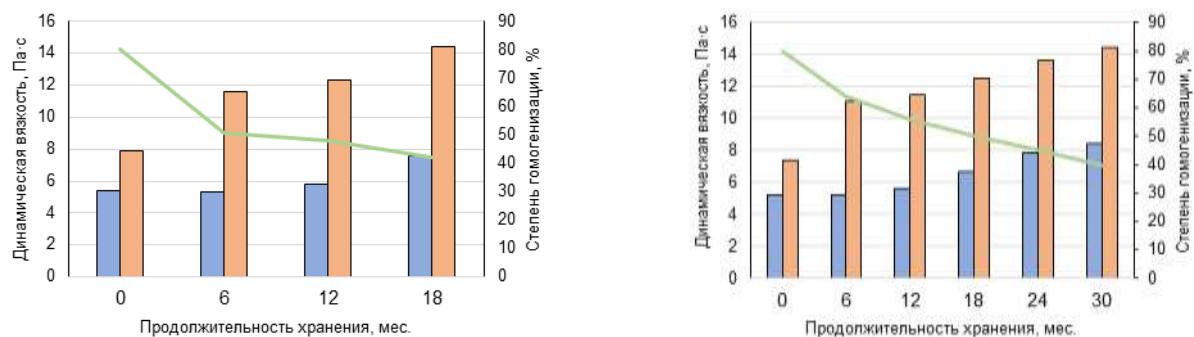


Рисунок 2 – Динамическая вязкость и степень гомогенизации образцов сгущенного цельного молока с сахаром

А – контрольные образцы; В – опытные образцы;
■ – динамическая вязкость образцов без температурного воздействия;
■ – динамическая вязкость образцов после температурного воздействия;
— – степень гомогенизации

Figure 2 - Dynamic viscosity and degree of homogenization of sweetened condensed whole milk samples

A - control samples; B - experimental samples;
■ - dynamic viscosity of samples without temperature influence;
■ - dynamic viscosity of samples after temperature effect;
— - degree of homogenization

МОНИТОРИНГ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ СГУЩЕННОГО МОЛОКА С САХАРОМ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ

Результаты выполнения прогнозирования загустевания опытных образцов в течение всего срока хранения не превышали нормируемый диапазон (рисунок 2), и после 30 месяцев значение вязкости составило 14,4 Па·с, что соответствовало вязкости контрольных образов, выдержавших только 18 месяцев хранения. В связи с этим можно предположить, что при дальнейшем хранении (более 30 мес.) в опытных образцах не произойдет заметного загустевания и они сохранят текучесть.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование отечественного антиокислителя биофлавоноида дигидрокверцетина, выбор кондиционного молочного сырья, оптимизация режимов всех этапов технологического процесса, низкотемпературная (не выше 10 °C) стабильность условий хранения позволили сохранить качество сгущенного цельного молока с сахаром в течение 30 месяцев. Мониторинг структурообразования продукта на момент окончания хранения показал, что средний размер жировых шариков не превышал 1,8 мкм, кристаллов молочного сахара – 4,4 мкм, динамическая вязкость составляла 8,4 Па·с.

Таким образом, можно научно обоснованно проектировать дальнейшую пролонгацию хранения продукта (более 30 месяцев) при температуре не выше 10 °C, что подтверждено отсутствием негативных трансформаций и дополнительно доказано положительными результатами сохранения текучести, если в последующем не будут выявлены различные пороки, например, химического происхождения (потемнение, загустевание).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high-quality food products / A.G. Galstyan [et al.] // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2019. Vol. 89. № 2. P. 211–213. doi: 10.1134/S1019331619020059.
2. Ryabova A.E., Tolmachev V.A., Galstyan A.G. Phase transitions of sweetened condensed milk in extended storage temperature ranges // Food Processing: Techniques and Technology. 2022. Vol. 52. № 3. P. 526–535. doi: 10.21603/2074-9414-2022-3-2379.
3. Новый межгосударственный стандарт на антиокислитель дигидрокверцетин / И.А. Радаева [и др.] // Молочная промышленность. 2016. № 4. С. 57–59.
4. Sunil C., Xu B. An insight into the health-promoting effects of taxifolin (dihydroquercetin) // Phytochemistry. 2019. № 166. 112066. doi: 10.1016/j.phytochem.2019.112066.
5. Ивкова И.А. Дигидрокверцетин и пролонгирование сроков годности молочных продуктов // Переработка молока. 2022. № 8. С. 52–54.
6. Дигидрокверцетин как потенциальный иммунонутриент в комплексной терапии COVID-19 / В.В. Татаринов [и др.] // Медицинский алфавит. 2021. № 21. С. 28–32. doi: 10.33667/2078-5631-2021-21-28-32.
7. Flavonols and dihydroflavonols inhibit the main protease activity of SARS-CoV-2 and the replication of human coronavirus 229E / Y. Zhu [et al.] // Virology. 2022. Vol. 571. P. 21–33. doi: 10.1016/j.virol.2022.04.005.
8. Зобкова З.С. Влияние пищевых добавок на качество кисломолочных продуктов // Переработка молока. 2013. № 1. С. 12–13.
9. Шагаева Н.Н., Колобов С.В., Пчелкина В.А. Изучение влияния дигидрокверцетина на микроструктуру мясных рубленых полуфабрикатов // Ползуновский вестник. 2018. № 4. С. 95–99.
10. Современная нормативная база производства молочных консервов / И.А. Радаева [и др.] // Переработка молока. 2013. № 7. С. 6–9.
11. Применение природного антиокислителя дигидрокверцетина для увеличения срока годности молочных консервов / Т.Б. Гусева [и др.] // Пищевая промышленность. 2017. № 8. С. 54–56.
12. Радаева И.А., Гордезиани В.С., Шулькина С.П. Технология молочных консервов и заменителей цельного молока : справочник. М. : Агропромиздат, 1986. 351 с.
13. Петров А.Н., Радаева И.А., Шепелева Е.В. Методология формирования органолептических свойств консервов на молочной основе : монография. Кемерово, 2013. 232 с.
14. Голубева Л.В., Чекулаева Л.В., Полянский, К.К. Хранимоспособность молочных консервов. Воронеж, 1999. 136 с.

Информация об авторах

А. Г. Кручинин – заведующий лабораторией, кандидат технических наук, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности».

Е. Е. Илларионова – научный сотрудник, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности».

С. Н. Туровская – старший научный сотрудник, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности».

REFERENCES

1. Galstyan, A.G., Aksanova, L.M., Lisitsyn, A.B., Oganesyants, L.A. & Petrov, A.N. (2019). Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high quality food

- products. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 89(2), 211-213. doi: 10.1134/S1019331619020059.
2. Ryabova, A.E., Tolmachev, V.A. & Galstyan, A.G. (2022). Phase transitions of sweetened condensed milk in extended storage temperature ranges. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(3), 526-535. doi: 10.21603/2074-9414-2022-3-2379.
3. Radaeva, I.A., Galstyan, A.G., Turovskaya, S.N., Illarionova, E.E., Tihonov, V.P. & Shevchenko, T.V. (2016). New intergovernmental standard on the antioxidant dihydroquercetin. *Dairy Industry*, 4, 57-59. (In Russ.).
4. Sunil, C. & Xu, B. (2019). An insight into the health-promoting effects of taxifolin (dihydroquercetin). *Phytochemistry*, 166, 112066. doi: 10.1016/j.phytochem.2019.112066.
5. Ivkova, I.A. (2022). Dihydroquercetin and prolonging the shelf life of dairy products. *Milk Processing*, 8, 52-54. (In Russ.).
6. Tatarinov, S.V. Orlova, E.A. Nikitina, E.V. Prokopenko, A.N. Vodolazkaya, Yu.A., Pigareva, K.V. & Paliy, K.V. (2021). Dihydroquercetin as potential immunonutrient in treatment of covid-19. *Medicalal phabet*, 21, 28-32. (In Russ.). doi: 10.33667/2078-5631-2021-21-28-32.
7. Zhu, Y., Scholle, F., Kisthardt, S.C. & Xie, De-Yu. (2022). Flavonols and dihydroflavonols inhibit the main protease activity of SARS-CoV-2 and the replication of human coronavirus 229E. *Virology*, 571, 21-33. doi: 10.1016/j.virol.2022.04.005.
8. Zobkova, Z.S. (2013). The effect of food additives on the quality of fermented milk products. *Milk Processing*, 1, 12-13. (In Russ.).
9. Shagaeva, N.N., Kolobov, S.V. & Pchelkina, V.A. (2018). Study of the effect of dihydroquercetin on the microstructure of minced meat semi-finished products. *Polzunovskiy vestnik*, 4, 95-99. (In Russ.).
10. Radaeva, I.A., Chervetsov, V.V., Galstyan, A.G., Turovskaya, S.N., Illarionova, E.E., Strizhko, M.N. & Petrov, A.N. (2013). Modern regulatory framework for the production of canned milk. *Milk Processing*, 7, 6-9. (In Russ.).
11. Guseva, T.B., Karanyan, O.M., Kulikovskaya, T.S., Rassokha, S.N. & Radaeva, I.A. (2017). The use of natural antioxidant dihydroquercetin to increase the shelf life of canned milk. *Food Industry*, 8, 54-56.
12. Radaeva, I.A., Gordeziani, V.S. & Shulkin, S.P. (1986). *Dairy Cans Technology and Whole Milk Substitutes: A Guide*. Moscow: Agropromizdat. 351 p. (in Russ.).
13. Petrov, A.N., Radaeva, I.A. & Shepeleva, E.V. (2013). *Cans on Milk Basis Methodology of Organoleptic Properties Formation: Monograph*. Kemerovo. 232 p. (In Russ.).
14. Golubeva, L.V., Chekulaeva, L.V. & Polyan-sky, K.K. (1999). Storage capacity of canned milk. Voronezh. 136 p. (in Russ.).

Information about the authors

A.G. Kruchinin - Head of the Laboratory, Candidate of Technical Sciences, All-Russian Dairy Research Institute.

E.E. Illarionova - Researcher, All-Russian Dairy Research Institute.

S.N. Turovskaya - Senior Researcher, All-Russian Dairy Research Institute.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 29.11.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 29 Nov 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



КЕКС «ЦИЦЕР»

**Елизавета Алексеевна Ерофеева¹, Кристина Владимировна Власова²,
Елена Николаевна Артемова³**

^{1, 2} Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)

³ Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

¹ lizokeroфеева@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-4963-9134>

² vlasova_kv_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0434-9686>

³ helena-1959@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7203-4475>

Аннотация. Научная статья посвящена вопросам создания мучных кондитерских изделий для людей с непереносимостью глютена. В работе использовались такие виды безглютенового сырья, как нутовая и рисовая мука. При разработке рецептуры кекса первоначально заменили пшеничную муку на нутовую в количестве 10, 30, 50, 70 и 90 %. По итогам проведения органолептической оценки установили, что наилучшие показатели имел кекс с заменой 50 % пшеничной муки на нутовую. Для исключения аллергии на белок пшеничную муку заменили на рисовую. По итогам органолептической оценки наиболее высокие показатели качества были выявлены у образца с соотношением рисовой и нутовой муки 1:1. Разработанный образец имел наиболее приятный ореховый вкус и аромат, правильную форму, равномерную пористость и привлекательный внешний вид. Готовое изделие по органолептическим, физико-химическим показателям соответствовало требованиям ГОСТ 15052-2014. При расчете пищевой ценности контрольного и опытного образцов было установлено, что количество белка выросло на 16 %, клетчатки – на 69 %, энергетическая ценность снижена на 3 %. Замена пшеничной муки на рисовую и нутовую способствует полному исключению глютена из кекса. Это позволит расширить ассортимент безглютеновой продукции для людей с целиакией.

Ключевые слова: кекс, глютен, нутовая мука, рисовая мука, белок, органолептическая оценка, физико-химические показатели качества, пищевая ценность.

Для цитирования: Ерофеева Е. А., Власова К. В., Артемова Е. Н. Кекс «Цицер» // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 137–144. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.017. EDN: <https://elibrary.ru/OYJYIE>.

Original article

CAKE «TSITSER»

Elizaveta A. Erofeeva ¹, Kristina V. Vlasova ²,
Elena N. Artemova ³

^{1, 2} Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU)

³ Oryol State University named after I.S. Turgenev

¹ lizokerofeeva@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-4963-9134>

² vlasova_kv_81@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0434-9686>

³ helena-1959@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7203-4475>

Abstract. The scientific article is devoted to the creation of flour confectionery products for people with gluten intolerance. Such types of gluten-free raw materials as chickpea and rice flour were used in the work. When developing the cake recipe, wheat flour was initially replaced with chickpea flour in the amount of 10, 30, 50, 70 and 90%. According to the results of the organoleptic evaluation, it was found that the best indicators were a cupcake with the replacement of 50% wheat flour with chickpea flour. To exclude protein allergies, wheat flour was replaced with rice flour. According to the results of the organoleptic evaluation, the highest quality indicators were found in a sample with a ratio of rice and chickpea flour 1:1. The developed sample had the most pleasant nutty taste and aroma, the correct shape, uniform porosity and attractive appearance. The finished product according to organoleptic, physico-chemical parameters met the requirements of GOST 15052-2014. When calculating the nutritional value of the control and experimental samples, it was found that the amount of protein increased by 16%, fiber - by 69%, the energy value was reduced by 3%. Replacing wheat flour with rice and chickpea flour contributes to the complete elimination of gluten from the cake. This will expand the range of gluten-free products for people with celiac disease.

Keywords: cupcake, gluten, chickpea flour, rice flour, protein, organoleptic evaluation, physico-chemical quality indicators, nutritional value.

For citation: Erofeeva, E.A., Vlasova, K.V. & Artemova, E.N. (2023). Cupcake «Tsitser». Polzunovskiy vestnik, (1), 137-144. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.017. EDN: <https://elibrary.ru/OYJYIE>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большими темпами развивается производство специализированных продуктов питания, в том числе продуктов питания, свободных от некоторых ингредиентов (аллергенов, некоторых типов белков, олигосахаридов, полисахаридов и др.). Причины ограничения потребления некоторых рецептурных компонентов могут быть разные, одной из них является аллергическая реакция организма.

Распространенным веществом, вызывающим у определенной категории людей негативную реакцию организма, является глютен. Глютен – это белок злаковых культур. Болезнь, характеризующая непереносимость данного компонента, называется целиакия. Это заболевание пищеварительного тракта, сопровождающееся нарушением всасывания питательных веществ [10]. Людям, страдающим целиакией, противопоказано потребление продуктов, содержащих глютен. Лечением является соблюдение особой диеты на протяжении всей жизни. Данная диета подразумевает под собой исключение из рациона

продуктов, в состав которых входят пшеница, рожь, ячмень. Целиакия является одной из часто встречающихся генетических болезней с распространенностью около 1 % [6]. Постоянный прирост заболеваемости среди населения приводит к увеличению спроса на продукты питания без глютена.

Перспективной сферой для разработок безглютеновой продукции является кондитерское производство. По данным «Анализа рынка кондитерских изделий в России», подготовленного Business Stat в 2020 г., объем продаж мучных кондитерских изделий превосходит сахаристые изделия [1]. Потребители любят печенье, кексы, пряники и другие виды изделий, содержащие пшеничную муку, которая является запрещенной для людей с целиакией.

На рынке уже существуют безглютеновая продукция, однако ассортимент на прилавках магазинов по-прежнему небольшой. В основном в торговых сетях представлены товары зарубежных производителей, которые имеют высокую стоимость. Ограниченный ассортимент отечественных товаров, высокая

заболеваемость целиакией, а также тенденция потребления не содержащих глютен продуктов определяют целесообразность создания безглютеновых мучных кондитерских изделий.

Целью данного исследования является разработка кекса с использованием нетрадиционного вида безглютенового сырья.

С целью замены пшеничной муки в качестве перспективного источника безглютенового сырья были использованы такие виды муки, как нутовая и рисовая.

Выбор нутовой муки обусловлен ее высокой пищевой ценностью. Среди зернобобовых культур нут является одним из главных источников растительного белка, который не содержит глютен [3].

Среди безглютенового сырья большой интерес представляет собой рисовая мука. Она является гипоаллергенным продуктом, имеет нейтральный вкус и используется в технологии мучных кондитерских изделий.

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика химического состава пшеничной муки высшего сорта, нутовой и рисовой муки.

Физиологическая потребность в пищевых волокнах для взрослого человека составляет 20 г/сут [5]. Нутовая мука в количе-

На основании таблицы можно сделать вывод, что по содержанию белка и жира нутовая мука в 2,7 и 4,3 раза превосходит рисовую и в 2 и 3,3 раза пшеничную муку. Пшеничная и рисовая мука богаты углеводами, соответственно 69,9 и 79 г/100 г, в нутовой муке их содержание заметно отличается – 46,2 г/100 г. В пшеничной муке содержится небольшое количество пищевых волокон – 3,5 г/100 г., в рисовой их содержание еще меньше – 2,4 г/100 г. В нутовой муке, напротив, их количество составляет 9,9 г на 100 г продукта.

Пищевые волокна – это «компоненты пищи, не перевариваемые пищеварительными ферментами организма человека, но перерабатываемые полезной микрофлорой кишечника» [4]. Высокое содержание клетчатки и грубых пищевых волокон делает муку из зернобобовых культур продуктом, благотворно влияющим на состояние кишечника и пищеварительные процессы микрофлорой кишечника» [3].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования выступали образцы кексов, приготовленные на основе нутовой и рисовой муки, характеризующиеся отсутствием в составе глютена.

стве 100 г покрывает суточную потребность в клетчатке почти на 50 %.

Из представленных видов муки нутовая мука является наименее калорийной – 309 ккал. Наибольшую энергетическую ценность имеет рисовая мука – 350 ккал благодаря высокому содержанию углеводов [9].

Таблица 1 – Химический состав пшеничной, рисовой и нутовой муки

Table 1 - Chemical composition of wheat, rice and chickpea flour

Наимено- вание со- единений и элемен- тов	Содержание компонента, в 100 г муки		
	Мука пшенич- ная в/с	Мука рисовая	Мука нутовая
Белки, г	10,8	7,5	20,1
Жиры, г	1,3	1,0	4,32
Углеводы, г	69,9	79,0	46,2
Пищевые волокна, г	3,5	2,4	9,9
Энергети- ческая ценность, ккал	334	350	309

В работе в качестве контрольного образца была выбрана рецептура кекса «Столичный» из сборника рецептур мучных кондитерских и булочных изделий А.В. Павлова [7].

Контроль качества кексов по органолептическим и физико-химическим показателям осуществляли на соответствие требованиям ГОСТ 15052–2014 «Кексы. Общие технические условия».

Удельный объем был определен как отношение объема кекса к его массе [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка рецептуры кексов проводилась в несколько этапов. С целью частичной замены пшеничной муки на первом этапе вносили нутовую муку. Были изготовлены контрольный образец и опытные образцы кексов с содержанием нутовой муки 10, 30, 50, 70 и 90 %.

Производственные рецептуры представлены в таблице 2.

Следующим этапом была оценка качества выпеченных изделий. Органолептическую оценку качества проводили по показателям вкус и запах, цвет, поверхность, вид в изломе, структура и форма, регламентированные требованиями ГОСТ 15052-2014 [2].

Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Производственные рецептуры кексов

Table 2 - Production recipes of cupcakes

Наименование сырья	Кон-троль	Расход сырья на 100 г готовых изделий, г				
		Кекс с соотношением нутовой и пшеничной муки				
		10:90 (образец № 1)	30:70 (образец № 2)	50:50 (образец № 3)	70:30 (образец № 4)	90:10 (образец № 5)
Мука пшеничная в/с	35,9	32,31	25,13	17,95	10,8	3,6
Мука нутовая	–	3,59	10,77	17,95	25,13	32,31
Сахар белый	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9
Масло сливочное	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9
Яйца куриные	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6
Ванилин	0,71	0,71	0,71	0,7	0,7	0,7
Соль пищевая	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
Разрыхлитель	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Итого	113,9	113,9	113,9	113,9	113,9	113,9

Таблица 3 – Органолептические показатели

Table 3 - Organoleptic indicators

Наименование образцов	Наименование показателей					
	Вкус и запах	Цвет	Поверхность	Вид в изломе	Структура	Форма
Контроль	Сладкий, сдобный вкус с запахом ванили	Равномерный, светло-бежевый	Выпуклая, имеются небольшие трещины, без отдельки	Изделие пропеченое без комочков, следов непромеса, с равномерной пористостью	Разрыхленная, без пустот и уплотнений	Правильная форма, с выпуклой поверхностью
Образец № 1	Слабо выраженный вкус и аромат. Без посторонних привкусов и запахов	Равномерный, светло-бежевый	Поверхность выпуклая с характерными трещинами	Изделие пропеченое без комочков, следов непромеса, с равномерной пористостью	Разрыхленная, без пустот и уплотнений	Правильная форма, с выпуклой поверхностью
Образец № 2	Слабовыраженный ореховый запах и привкус	Равномерный, светло-бежевый	Поверхность выпуклая с характерными трещинами	Изделие пропеченое без комочков, следов непромеса, с равномерной пористостью	Разрыхленная, без пустот и уплотнений	Правильная форма, с выпуклой поверхностью
Образец № 3	Сливочно-сладкий вкус. Выраженный приятный ореховый запах и привкус	Равномерный, слегка желто-бежевый	Поверхность выпуклая с характерными трещинами	Пропеченое изделие, без комочков, включений и следов непромеса, пористость мелкая, равномерная	Разрыхленная, без пустот и уплотнений	Правильная форма, с выпуклой поверхностью
Образец № 4	Сладкий, сдобный вкус с ярко выраженным бобовым привкусом и запахом	Равномерный, выраженный желтый	Плоская поверхность, без трещин	Пропеченое изделие без комочков, следов непромеса, плотная пористость	Плотная, не липкая, слегка суховата	Правильная форма, с плоской поверхностью
Образец № 5	Сладкий, с неприятным бобовым привкусом и запахом	Равномерный, выраженный желтый	Плоская поверхность, без трещин	Пропеченое изделие без комочков, следов непромеса, плотная пористость	Плотная, не липкая, сухая	Правильная форма, с плоской поверхностью

Исследование качества кексов с добавлением нутовой муки показало, что замена пшеничной муки на 50 % повлияла на вкус, аромат и цвет изделий. Они приобрели приятный ореховый привкус и аромат, слегка желтый цвет. Содержание нутовой муки в меньшем количестве незначительно отразилось на органолептических характеристиках. Добавление в рецептуру кекса нутовой муки в количестве более 50 % от общей массы пшеничной муки приводило к снижению органолептических свойств готового продукта. Такие изделия становились насыщенного желтого цвета, появлялся неприятный запах и специфичный привкус бобовых. Была проведена дегустационная оценка разработанных образцов по показателям: вкус и аромат, структура, вид в изломе, внешний вид. Результаты дегустационной оценки по 10-балльной шкале представлены на рисунке 1.

ничной муки приводило к снижению органолептических свойств готового продукта. Такие изделия становились насыщенного желтого цвета, появлялся неприятный запах и специфичный привкус бобовых. Была проведена дегустационная оценка разработанных образцов по показателям: вкус и аромат, структура, вид в изломе, внешний вид. Результаты дегустационной оценки по 10-балльной шкале представлены на рисунке 1.

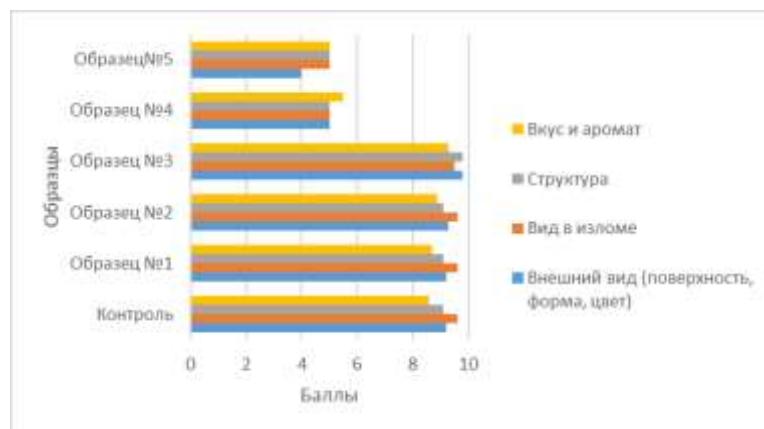


Рисунок 1 – Результаты дегустационной оценки кексов

Figure 1 - Results of organoleptic evaluation of cupcakes

По результатам дегустационной оценки был выделен образец № 3. Нутовая мука в количестве 50 % к общей массе пшеничной муки наиболее благоприятно влияет на показатели качества. Данный образец приобретает приятный ореховый запах и привкус, изделие с характерными трещинами и бежево-желтым цветом.

Наиболее подходящей альтернативой пшеничной муки в безглютеновых изделиях является рисовая мука. На следующем этапе заменили 50 % пшеничной муки на рисовую. Были разработаны производственные рецептуры, приведенные в таблице 4: контрольный образец с пшеничной мукой и опытный образец из смеси нутовой и рисовой муки в соотношении 1:1.

Таблица 4 – Производственные рецептуры кексов

Table 4 - Production recipes of cupcakes

Наименование сырья	Массовая доля СВ, %	Расход сырья на 100 г готовых изделий, г			
		Контроль		Опытный образец	
		В натуре	В сухих веществах	В натуре	В сухих веществах
Мука пшеничная в/с	85,50	35,9	30,69	–	–
Мука нутовая	85,50	–	–	17,95	15,35
Мука рисовая	85,50	–	–	17,95	15,35
Сахар белый	99,85	26,9	26,86	26,9	26,86
Масло сливочное	84,00	26,9	22,6	26,9	22,6
Яйца куриные	27,00	21,6	5,83	21,6	5,83
Ванилин	100,00	0,71	0,0	0,71	0
Соль пищевая	96,50	1,12	1,08	1,12	1,08
Разрыхлитель	96,50	0,78	0,0	0,78	0
Итого		113,9	87,06	113,9	87,06

Опытный образец кекса готовили по технологической схеме аналогичной схеме производства контрольного образца.

Характеристика органолептических показателей качества выпеченных изделий представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Органолептические показатели

Table 5 - Organoleptic indicators

Наимено- вание по- казателей	Характеристика		
	Требования ГОСТ 15052-2014	Контроль	Опытный образец
Вкус и запах	Изделия со сдобным вкусом и характерным ароматом предусмотренных в составе кексов пищевых ингредиентов, добавок или ароматизаторов, без посторонних привкусов и запахов	Сладкий, сдобный вкус с запахом ванили	Сдобный вкус с приятным ореховым прикусом и запахом ванили
		Без посторонних привкусов и запахов	
Цвет	Не нормируется	Равномерный, светло-бежевый	Равномерный, слегка желто-бежевый
Поверхность	Верхняя – выпуклая, с характерными трещинами, с наличием явно выраженной боковой поверхности	Выпуклая, имеются небольшие трещины, без отделки	
Вид в изломе	Пропеченное изделие без комочек, следов непромеса, с равномерной пористостью, без пустот и закала	Изделие пропеченное без комочек, следов непромеса, с равномерной пористостью	
Структура	Мягкая, связанная, разрыхленная, пористая, без пустот и уплотнений	Разрыхленная, без пустот	
Форма	Правильная, с выпуклой верхней поверхностью. Нижняя и боковые поверхности ровные, без пустот и раковин	Правильная, с выпуклой поверхностью	

В сравнении с контролем у опытного образца не произошло снижение показателей качества. По органолептическим показателям кекс соответствовал требованиям ГОСТу. Благодаря введению нутовой и рисовой муки

изделие приобретало приятный вкус и аромат, желтый цвет. Изделия становились более пористыми и мягкими.

На рисунке 2 представлены образцы выпеченных изделий в разрезе.

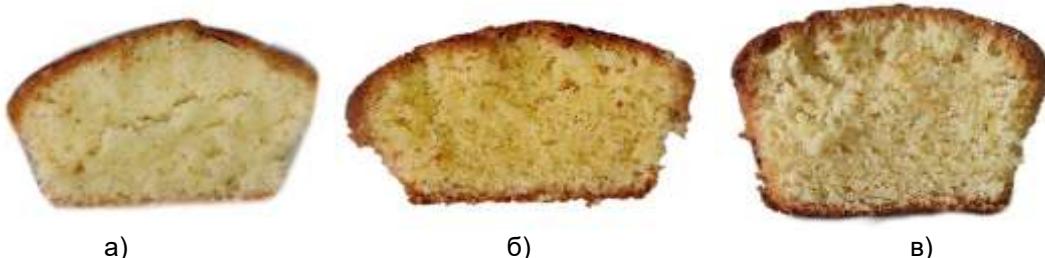


Рисунок 2 – Вид выпеченных изделий в разрезе:

- а) кекс из пшеничной муки в/с; б) кекс из смеси пшеничной муки в/с и нутовой муки в соотношении 1:1; в) кекс из смеси нутовой и рисовой муки в соотношении 1:1

Figure 2 - View of baked goods in the section: a) a cupcake made of wheat flour in / with, b) a cupcake made of a mixture of wheat flour in / with and chickpea flour in a ratio of 1:1, c) a cupcake made of a mixture of chickpea and rice flour in a ratio of 1:1

Была проведена дегустационная оценка разработанных образцов. Результаты дегустационной оценки контрольного и опытного образцов по органолептическим показателям качества и их оценка по 10-балльной шкале представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Результаты дегустационной оценки кексов

Figure 3 - Results of organoleptic evaluation of cupcakes

Максимальное количество баллов по таким показателям как внешний вид, структура, вкус и аромат получил опытный образец. Он имеет наиболее приятный ореховый привкус и аромат, правильную форму, равномерную пористость и привлекательный внешний вид.

Физико-химические показатели кексов представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Физико-химические показатели кексов

Table 6 - Physical and chemical indicators of cupcakes

Наименование показателей	Требования ГОСТ 15052	Контроль	Опытный образец
Удельный объем, см ³ /г	–	2,13	1,97
Плотность, г/см ³ , не более	0,55	0,47	0,51
Массовая доля влаги, %	12,0–24,0	13,6	13,9
Щелочность, в град., не более	2	1,8	1,8
Массовая доля общего сахара (по сахарозе), %	13,0–25,0	22,8	22,5
Массовая доля жира, %	9,0–22,0	19,5	21,4
Массовая доля золы, нерастворимой в растворе соляной кислоты с массовой долей 10 %, %, не более	0,1	0,059	0,09

Данные, приведенные в таблице 6, показывают, что внесение нутовой и рисовой муки вместо пшеничной увеличивает плотность изделия. Удельный объем изделий снижается. Проанализировав изделия на соответствие требованиям ГОСТ 15052-2014, можно сделать вывод, что все показатели соответствуют стандарту. Поэтому опытный образец полностью удовлетворяет требованиям стандарта.

Результаты расчета пищевой ценности контрольного и опытного образцов кексов приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Пищевая ценность кексов

Table 7 - Nutritional value of cupcakes

Наименование компонента	Содержание в 100 г продукта, г	
	Контроль	Опытный образец
Белки, г	6,62	7,70
Жиры, г	25,35	26,12
Углеводы, г	52,24	46,59
Пищевые волокна, г	1,3	2,2
Энергетическая ценность, ккал/кДж	467/1953,9	453/1895,4

Из данных таблицы следует, что энергетическая ценность исследуемого продукта была незначительно снижена по сравнению с контрольным образцом, что связано с более низким содержанием углеводов в нутовой муке, а количество белка, напротив, выросло на 16 % за счет замены пшеничной муки на нутовую. Также увеличилось содержание пищевых волокон на 0,9 г.

ВЫВОДЫ

В ходе проведения исследований была получена рецептура безглютенового кекса с применением нутовой и рисовой муки. Готовое изделие по органолептическим и физико-химическим показателям полностью соответствует требованиям ГОСТ. Разработка технологии кексов с нутовой и рисовой мукой позволит расширить ассортимент мучных кондитерских изделий для людей с целиакией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анализ рынка кондитерских изделий в России в 2017–2021 гг, прогноз на 2022–2026 гг. Потенциал импортозамещения и новые рынки сбыта. URL: https://businessstat.ru/images/demo/confectioneryrussia_demo_businessstat.pdf (дата обращения 27.10.2022).

2. ГОСТ 15052-2014 Кексы. Общие технические условия. М. : Стандартинформ, 2015. 17 с.
3. Ипатова Л.Г. Пищевые волокна в продуктах питания // Пищевая промышленность. 2007. № 5. С. 8–10.
4. Кондрашина В.В. Пищевые волокна и их роль в формировании здоровья человека // Современные научные исследования и инновации. 2017. № 5 [Электронный ресурс]. URL : <https://web.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875661817300526> (дата обращения: 25.10.2022).
5. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 57 с. Режим доступа : URL : //www.rosпотребнадзор.ru/ (дата обращения: 15.02.2023).
6. Орешко Л.С., Бакулин И.Г., Авалуева Е.Б., Семенова Е.А., Ситкин С.И. Современное представление о целиакии взрослых. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2021; 188(4): 84–95. DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-188-4-84-95.
7. Павлов, А.В. Сборник рецептур мучных кондитерских и булочных изделий / А.В. Павлов. М. : Профи, 2014. 296 с.
8. Пучкова, Л.И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства : учеб. пособие для вузов. 4 изд., перераб. и доп. / Л.И. Пучкова. СПб. : ГИОРД, 2004. 259 с.
9. Скурихин И.М. Химический состав пищевых продуктов. Изд. 2, перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1987. 361 с.
10. Целиакия: польза и образ жизни / Д.С. Михалик [и др.] // Земский врач. 2012. № 4. С. 35–38.

Информация об авторах

Е. А. Ерофеева – бакалавр факультета пищевых технологий и биоинженерии Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ).

К. В. Власова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Цифровая нутрициология, гостиничный и ресторанный сервис» Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ).

Е. Н. Артемова – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии продуктов питания и организация ресторанных дел» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева.

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

Статья поступила в редакцию 22.11.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 22 Nov 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.

REFERENCES

1. Analysis of the confectionery market in Russia in 2017-2021, forecast for 2022-2026. Import substitution potential and new sales markets. Retrieved from URL: https://businessstat.ru/images/demo/confectionery_russia_demo_businessstat.pdf. (In Russ.).
2. Cupcakes. General specifications (2015). HOST 15052-2014 from 19 November 2014. M. : Standartinform. (In Russ.).
3. Ipatova, L.G. (2007). Dietary fiber in food . Food industry. (5). 8-10. (In Russ.).
4. Kondrashina, V.V. (2017). Dietary fibers and their role in the formation of human health. Modern scientific research and innovation. Electronic scientific and practical journal. (5). (In Russ.).
5. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. (2009). Methodological recommendations. M. : Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rosпотребнадзор. (In Russ.).
6. Oreshko, L.S., Bakulin, I.G., Avalueva, E.B., Semenova, E.A. & Sitkin, S.I. (2021). Modern understanding of adult celiac disease. Experimental and clinical gastroenterology. 188(4). 84-95. DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-188-4-84-95. (In Russ.).
7. Pavlov, A.V. (2014). Collection of recipes of flour confectionery and bakery products. M. : Profi. (In Russ.).
8. Puchkova, L.I. (2004). Laboratory workshop on bakery production technology: studies. manual for universities. 4th ed., reprint. and additional. St. Petersburg: GIORD. (In Russ.).
9. Skurikhin, I.M. (1987). Chemical composition of food products: second edition, reprint and additional. M. : Agropromizdat. (In Russ.).
10. Mikhaliuk [et al.] (2012). Celiac disease: disease and lifestyle. Zemsky doktor. (4). 35-38. (In Russ.).

Information about the authors

E.A. Erofeeva - Bachelor of the Faculty of Food Technologies and Bioengineering of the Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU).

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

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



БИОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНБИОТИЧЕСКОГО НАПИТКА С ДОБАВЛЕНИЕМ *BIFIDOBACTERIUM BIFIDUM* И ЭКСТРАКТА ВИШНИ

Юлия Геннадьевна Струрова¹, Ангелина Владимировна Малкова²,
Екатерина Вадимовна Колодина³, Анна Алексеевна Коляда⁴,
Юлия Викторовна Носкова⁵, Виктория Олеговна Щеголькова⁶

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

¹ y_sturova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

^{2, 3, 4, 5, 6} Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

² gelishka96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4053-036X>

³ kolodina_99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9861-565X>

⁴ ann7sh99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5314-0299>

⁵ yuliya.melnikovajulia27@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5671-8378>

⁶ v.shhegolkova1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9862-3174>

Аннотация. *Bifidobacterium bifidum* – естественные обитатели микрофлоры кишечника человека и других животных. Они поддерживают постоянство внутренней среды, нормализуют микрофлору кишечника, являясь антагонистами многих патогенных и условно патогенных микроорганизмов, усиливают кишечное пристеночное пищеварение, перистальтику кишечника и являются биосорбентами образующихся в организме токсических веществ. Их способность к образованию молочной кислоты используется в молочной промышленности для свертывания молока и производства кисломолочных продуктов.

С целью обогащения среды веществами, полезными для роста исследуемого штамма *B. bifidum*, в опытные образцы обезжиренного молока был добавлен растительный компонент – водный экстракт вишни. Его предварительно стерилизовали с помощью бактериального фильтра. В качестве контроля выступал образец без добавления экстракта. После культивирования определяли некоторые органолептические, физико-химические и микробиологические характеристики полученных напитков.

Установлено влияние разных концентраций экстракта вишни (1 % и 5 %) на свойства закваски на основе *B. bifidum*. С повышением процентного содержания экстракта вишни увеличивалась титруемая кислотность (на 20–33 °Т) кисломолочного продукта и снижалась активная кислотность (на 0,01–0,15 единиц активности). При этом вкус напитка с наибольшим содержанием экстракта также оказался самым кислым. Влияние экстракта на другие органолептические показатели установлено не было.

Численность клеток *B. bifidum* увеличивалась при внесении экстракта вишни на один порядок по сравнению с контролем, но в случае внесения 5%-го экстракта ($1,8 \times 10^7$ КОЕ/мл) несколько понижалась относительного образца с 1%-ым экстрактом ($2,7 \times 10^7$ КОЕ/мл). Поэтому наиболее оптимальным является внесение 1 % растительного экстракта.

Ключевые слова: *Bifidobacterium bifidum*, синбиотики, кисломолочный продукт, бактерии, экстракт вишни.

Для цитирования: Биотехнология получения синбиотического кисломолочного напитка с добавлением культуры *Bifidobacterium bifidum* и экстракта вишни / Ю. Г. Струрова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 145–150. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.018. EDN: <https://elibrary.ru/XUNYYB>.

Original article

BIOTECHNOLOGY OF SYNPBiotic DRINK OBTAINING WITH BIFIDOBACTERIUM BIFIDUM AND CHERRY EXTRACT ADDITION

Yulia G. Sturova ¹, Angelina V. Malkova ², Ekaterina V. Kolodina ³,
Anna A. Kolyada ⁴, Yulia V. Noskova ⁵, Victoria O. Shchegolkova ⁶

¹ Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ y_sturova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

^{2, 3, 4, 5, 6} Altai State University, Barnaul, Russia

² gelishka96@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4053-036X>

³ kolodina_99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9861-565X>

⁴ ann7sh99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5314-0299>

⁵ yuliya.melnikovajulia27@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5671-8378>

⁶ v.shhegolkova1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9862-3174>

Abstract. *Bifidobacterium bifidum* are natural inhabitants of the intestinal microflora of humans and other animals. They maintain the constancy of the internal environment and normalize the intestinal microflora. They are antagonists of many pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms, enhance intestinal parietal digestion, intestinal motility and are bio-sorbents of toxic substances formed in the body. Their ability to form lactic acid is used in the dairy industry to coagulate milk and produce fermented milk products.

In order to enrich the medium with useful substances for growth of the studied *B. bifidum* strain, a plant component, an aqueous extract of cherries, was added to the experimental samples of skimmed milk. It was pre-sterilized with a bacterial filter. A sample without extract was used as a control. After cultivation, some organoleptic, physicochemical and microbiological characteristics of the finished drinks were determined.

The effect of cherry extract different concentrations (1% and 5%) on the properties of starter culture based on *B. bifidum* was established. With an increase in the cherry extract percentage, the titratable acidity of the fermented milk product increased (by 20-33 °T) and the active acidity decreased (by 0.01-0.15 units of activity). At the same time, the taste of the drink with the highest content of the extract also turned out to be the sour. The effect of the extract on other organoleptic parameters has not been established.

The number of *B. bifidum* cells increased when cherry extract was added by one order of magnitude compared to the control. But in the case of adding a 5% extract (1.8×10^7 CFU/ml), it slightly decreased relative to the sample with a 1% extract (2.7×10^7 CFU/ml). Therefore, the most optimal is the introduction of 1% plant extract.

Keywords: *Bifidobacterium bifidum*, synbiotics, fermented milk product, bacteria, cherry extract.

For citation: Sturova, Y.G., Malkova, A.V., Kolodina, E.V., Kolyada, A.A., Noskova Y.V. & Shchegolkova, V.O. (2023). Biotechnology of synbiotic drink obtaining with *Bifidobacterium bifidum* and cherry extract addition. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 145-150. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.018. EDN: <https://elibrary.ru/NLRHNE>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время пищевая промышленность идет по пути оздоровления пищи при помощи добавления в продукцию полезных для здоровья человека веществ. Все большим спросом пользуются продукты, способные не только насытить организм, но и обогатить витаминами, микро- и макроэлементами, а также полезными микроорганизмами.

Bifidobacterium bifidum – неспорообразу-

ющие одинарные или двойные неподвижные грамположительные палочки. В норме являются естественными обитателями микрофлоры кишечника человека. Они поддерживают постоянство внутренней среды, нормализуют микрофлору кишечника, являясь антагонистами многих патогенных и условно патогенных микроорганизмов (*Shigella*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus*, *Klebsiella* и др.). Также усиливают кишечное пристеночное пищеварение, перистальтику кишечника

БИОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНБИОТИЧЕСКОГО НАПИТКА С ДОБАВЛЕНИЕМ *BIFIDOBACTERIUM BIFIDUM* И ЭКСТРАКТА ВИШНИ

и являются биосорбентами образующихся в организме токсических веществ [1, 2]. Продукты жизнедеятельности *B. bifidum* (молочная, уксусная, муравьиная и янтарная кислоты, аминокислоты и белки, витамины В1, В2, К, никотиновая, пантотеновая и фолиевая кислоты, пиридоксин, цианкобаламин) всасываются кишечником и используются организмом человека для получения энергии и выработки необходимых веществ и молекул (в том числе иммуноглобулинов) [3].

B. bifidum являются хемоорганотрофами, активно сбраживают сахарозу, галактозу, фруктозу, мальтозу, мелибиозу, раффинозу, лактозу и др. с образованием в основном уксусной и молочной кислот. Способность к образованию молочной кислоты используется в молочной промышленности для свертывания молока и производства кисломолочных продуктов.

При этом *B. bifidum* достаточно требовательны к среде культивирования. Для нормального роста и размножения им необходимы витамины группы В, цистеин, пуриновые и пиримидиновые основания, кофермент А, аминосахара, Fe, Mn, Mg, фосфаты и хлориды [4, 5]. Поэтому для использования данных бактерий в качестве свертывающего агента в обезжиренное молоко вносят различные добавки. В качестве такой добавки могут быть использованы ягодные экстракти.

Вишня – одна из наиболее популярных плодовых культур во всем мире. Около 60–70 % всей выращенной вишни перерабатывается до различных соков, экстрактов, пюре, сиропов, мармелада, используется в приготовлении йогуртов, выпечки, кондитерских изделий и др. [6]. Такая востребованность вишни в пищевой промышленности обусловлена ее биохимическим составом. В свежих плодах вишни содержится до 30 % растворимых сухих веществ, до 14 % сахаров, до 2 % органических кислот, до 30 мг/100 г аскорбиновой кислоты, до 1200,0 мг/100 г фенольных веществ, клетчатка, пектин (около 0,34 %), витамины В1, В2, В6, Е, альфа-каротин, Fe, которого больше, чем в яблоках, Mg, K, B, Si, Co, Ni, Zn [7, 8]. В термически обработанных продуктах вишни остаются витамины группы В, все вышеперечисленные полезные металлы, пектин, клетчатка, сахара, антиоксиданты [9], которые оказывают положительное влияние на организм человека, а также так необходимы для роста *B. bifidum*.

Кроме того, вишня используется в диетическом питании и при лечении некоторых заболеваний почек, печени, как мочегонное и отхаркивающее средство. Наличие кобальта

и железа делает ее полезным при анемиях. Вишневый сок также укрепляет капилляры, регулирует свертываемость крови, оказывает противовоспалительное, антисклеротическое воздействие [10, 11].

Исходя из всего вышеизложенного, целью нашей работы было изучить влияние различных концентраций экстракта вишни на качество синбиотического молочного напитка с добавлением *B. bifidum*.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сырьем для получения синбиотического кисломолочного напитка было выбрано стерильное обезжиренное коровье молоко (115 г на 1 л воды). Для приготовления закваски использовались бактерии *B. bifidum* из коллекции Инжинирингового центра «Промбиотех» (АлтГУ). В качестве растительного компонента для обогащения продукта полезными веществами, а также придания ягодного вкуса и запаха добавляли стерильный водный экстракт вишни.

Для получения синбиотического кисломолочного напитка в колбы со стерильным молоком вносились культура бифидобактерий и экстракт вишни в концентрациях 1 % и 5 %. Доля бифидобактерий составила 3 % от объема колбы с молоком. Колба без добавления экстракта вишни послужила в качестве контроля. Образцы культивировали в течение суток при температуре 37 °C.

Определяли такие органолептические показатели кисломолочного напитка, как структура, консистенция, вкус и запах. Активную кислотность устанавливали с использованием pH-метра. Титруемую кислотность синбиотического напитка определяли титрометрическим методом [12]: в колбу вносили 10 мл напитка, 20 мл дистиллированной воды и 3 капли спиртового раствора фенолфталеина; перемешивали и титровали 0,1 н раствором NaOH до появления слабо-розовой окраски стабильной в течение 30 секунд. Для расчета титруемой кислотности в градусах Тернера объем щелочи, пошедший на нейтрализацию образца, умножают на 10.

Численность культуры определяли по методике Виноградского–Брида [13]. На предметном стекле отмечали квадрат 15×15 мм и помещали в него 0,01 мл образца, разбавленного в 2 раза. Готовили окрашенный фиксированный препарат и микроскопировали при увеличении ×1000. Подсчитывали количество молочнокислых микроорганизмов в трех полях зрения.

Количество микроорганизмов на 1 мл образца (К) определяли по формуле:

$$K = 2,25 \times 10^6 \times A,$$

где A – среднее количество молочнокислых микроорганизмов в поле зрения микроскопа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что с повышением процентного содержания вносимого растительного компонента (экстракт вишни) увеличивается титруемая кислотность (на 20–33 °Т) кисломолочного продукта и снижается активная (на 0,01–0,15 ед. акт.) (таблица 1). В литературе отмечается, что интенсивность преобразования лактозы в кисломолочных продуктах обусловливают их органолептические свойства, а активная кислотность показывает глубину этих преобразований. Кислотность воздействует на устойчивость продукта, на окислительную порчу, увеличение показателя сокращает срок годности продукта [14, 15].

Органолептические свойства синбиотического кисломолочного продукта изменялись с добавлением экстракта вишни – чем выше процент вносимого растительного компонен-

Таблица 1 – Влияние растительного компонента (экстракта вишни) на свойства закваски на основе *B. bifidum*

Table 1 - Influence of the plant component (cherry extract) on the properties of the starter based on *B. bifidum*

Показатели	Содержание растительного компонента, %		
	0	1	5
Титруемая кислотность, °Т	102,5±0,75	122±0,30	135±0
Активная кислотность, ед. акт.	4,95	4,94	4,80
Вкус и запах	Кисло-молочный, сладкий	Кисло-молочный, сладко-кислый	Кисло-молочный, кислый
Структура и консистенция	Ровная, средней плотности	Ровная, средней плотности	Ровная, средней плотности
Численность клеток бифидобактерий, КОЕ/мл	$9 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$

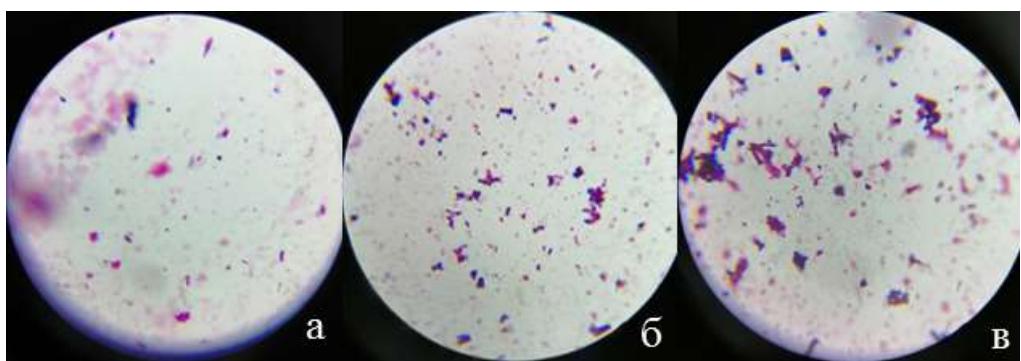


Рисунок 1 – Численность культуры *B. bifidum*: а – контроль, б – 1 % экстракта вишни, в – 5 % экстракта вишни

Figure 1 - *B. bifidum* culture abundance: a - control, б - cherry extract 1%, в - cherry extract 5%

БИОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНБИОТИЧЕСКОГО НАПИТКА С ДОБАВЛЕНИЕМ *BIFIDOBACTERIUM BIFIDUM* И ЭКСТРАКТА ВИШНИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опираясь на результаты проведенных экспериментов, было установлено, что внесение экстракта вишни оказывало положительное действие на исследуемый штамм *B. bifidum*. О чем свидетельствовало увеличение численности бактерий в изучаемом синбиотическом кисломолочном напитке по сравнению с пробиотическим контролем. Наиболее оптимальным по совокупности характеристик (органолептических, физико-химических и микробиологических) оказалось внесение 1 % растительного экстракта. При данной концентрации наблюдалось наибольшее количество *B. bifidum* и наиболее приятный сладко-кислый вкус. Поэтому именно данная рецептура рекомендована для дальнейшей отработки технологии получения синбиотического напитка с экстрактом вишни и культурой *B. bifidum*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лычкова А.Э. Взаимодействие электромоторной активности гладких мышц и микрофлоры кишечника // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2012. № 11. С. 84–90.
2. Разгуляева О.И., Мезенова О.Я. Роль бифидобактерий в кисломолочных продуктах геродиетического назначения // Вестник молодежной науки. 2016. № 4 (6). С. 1–6.
3. Джоев Ю.П., Ракова Е.Б. Геновидовая характеристика разнообразия бифидобактерий у населения г. Иркутск и Ангарск // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2007. № 3. С. 19–22.
4. Степаненко П. Микробиология молока и молочных продуктов. Москва: Лира, 2002. 413 с.
5. Шуляк Т.Д. Ферментация различных видов молочной сыворотки молочнокислыми бактериями // Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. № 7. С. 35–38.
6. Пастушкова Е.В., Заворожина Н.В., Вяткин А.В. Растительное сырье как источник функционально-пищевых ингредиентов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2016. № 4. С. 105–113. DOI: 10.14529/food160412.
7. Рахметова Т.П. Биохимический состав плодов вишни // Современное садоводство. 2019. № 4. С. 65–75. DOI: 10.24411/2312-6701-2019-10407.
8. Сиюхова Н.Т., Лунина Л.В. Биохимическая и технологическая характеристика плодов вишни // Новые технологии. 2011. № 4. С. 1–3.
9. Бординова В.П., Макарова Н.В. Влияние химического состава, вида обработки и сорта овощей и фруктов на их антиоксидантную активность // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2012. № 1. С. 5–7.
10. Бабаджанова З.Х., Караматов И.Д., Сайдова М.М. Вишня и черешня – лечебное применение // European science review. 2014. № 3–4. С. 40–43.
11. Потребительские и технологические свойства плодов вишни, произрастающих в Кемеровской области / О.В. Голуб [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. 2008. № 5–6. С. 31–32.
12. ГОСТ 3624-92 Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности: введ. 1994-01-01. Москва, 2009. 7 с.
13. Лавренчук Л.С., Ермошин А.А. Микробиология. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2019. 107 с.
14. Каменская Е.П., Обрезкова М.В., Базеева Е.Е. Особенности получения синбиотического кисломолочного продукта на основе консорциума бифидобактерий // Ползуновский вестник. 2018. № 3. С. 7–25. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.006.
15. Потороко И.Ю., Ботвинникова В.В., Фекличева И.В. Влияние растительных компонентов на активность симбиотической закваски кефирного грибка и формирование качества кисломолочных напитков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. № 1. С. 2–3.

Информация об авторах

Ю. Г. Струрова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. В. Малкова – ассистент кафедры «Экологии, биохимии и биотехнологии» Алтайского государственного университета.

Е. В. Колодина – магистрант кафедры «Экологии, биохимии и биотехнологии» Алтайского государственного университета.

А. А. Коляда – магистрант кафедры «Экологии, биохимии и биотехнологии» Алтайского государственного университета.

Ю. В. Носкова – магистрант кафедры «Экологии, биохимии и биотехнологии» Алтайского государственного университета.

В. О. Щеголькова – магистрант кафедры «Экологии, биохимии и биотехнологии» Алтайского государственного университета.

REFERENCES

1. Lychkova, A.E. (2012). Interaction of electro-motor activity of smooth muscles and intestinal microflora. *Experimental and Clinical Gastroenterology*, (11), 84-90. (In Russ.).
2. Razgulyaeva, O.I. & Mezenova, O.Ya. (2016). The role of bifidobacteria in sour-milk products for gerodietic purposes. *Bulletin of youth science*, (4 (6)), 1-6. (In Russ.).
3. Dzhioev, Yu.P. & Rakova, E.B. (2007). Genospecific characteristics of the diversity of bifidobacteria in the population of Irkutsk and Angarsk. *Bulletin of the VSNC SO RAMS*, (3), 19-22. (In Russ.).
4. Stepanenko, P. Microbiology of milk and dairy products (2002). Moscow: Lira. (In Russ.).

5. Shulyak, T.D. (2005). Fermentation of various types of whey by lactic acid bacteria. *Storage and processing of agricultural raw materials*, (7), 35-38. (In Russ.).
6. Pastushkova, E.V., Zavorokhina, N.V., & Vyatkin, A.V. (2016). Vegetable raw materials as a source of functional food ingredients. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnologies*, (4), 105-113. (In Russ.). DOI: 10.14529/food160412.
7. Rakhmetova, T.P. (2019). Biochemical composition of cherry fruits. *Modern gardening*, (4), 65-75. (In Russ.). DOI: 10.24411/2312-6701-2019-10407.
8. Siyukhova, N.T. & Lunina, L.V. (2011). Biochemical and technological characteristics of cherry fruits. *New technologies*, (4), 1-3. (In Russ.).
9. Bordinova, V.P. & Makarova, N.V. (2012). Influence of chemical composition, type of processing and variety of vegetables and fruits on their antioxidant activity. *Izvestiya VUZov. Food technology*, (1), 5-7. (In Russ.).
10. Babadzhanova, Z.Kh., Karamatov, I.D. & Saidova, M.M. (2014). Cherries and sweet cherries - medicinal use. *European science review*, (3-4), 40-43. (In Russ.).
11. Golub, O.V., Poznyakovsky, V.M., Zharkov, A.S., Zhukova, O.V. (2008). Consumer and technological properties of cherry fruits growing in the Kemerovo region. *News of universities. Food technology*, (5-6), 31-32. (In Russ.).
12. GOST 3624-92 from 1 Jan. 1994. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
13. Lavrenchuk, L.S. & Ermoshin, A.A. (2019). Microbiology. Yekaterinburg: Publishing House Ural. un-ta. (In Russ.).
14. Kamenskaya, E.P., Obrezkova, M.V., & Bazeeva, E.E. (2018). Features of obtaining a synbiotic fermented milk product based on a consortium of bifidobacteria. *Polzunovskiy Vestnik*, (3), 7-25. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.006.
15. Potoroko, I.Yu., Botvinnikova, V.V. & Feklicheva, I.V. (2014). Influence of plant components on the activity of symbiotic starter culture of kefir fungus and the formation of the quality of fermented milk drinks. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnologies*, (1), 2-3. (In Russ.).

Information about the authors

Yu.G. Sturova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Food technology» of the Polzunov Altai State Technical University.

A.V. Malkova - Assistant of the Department of «Ecology, biochemistry and biotechnology» of the Altai State University.

E. V. Kolodina - Master's Student of the Department of «Ecology, biochemistry and biotechnology» of the Altai State University.

A.A. Kolyada, E. V. Kolodina - Master's Student of the Department of «Ecology, biochemistry and biotechnology» of the Altai State University.

Yu.V. Noskova, E.V. Kolodina - Master's Student of the Department of «Ecology, biochemistry and biotechnology» of the Altai State University.

V.O. Shchegolkova, E.V. Kolodina - Master's Student of the Department of «Ecology, biochemistry and biotechnology» of the Altai State University.

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

Статья поступила в редакцию 29.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 29 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ВНЕШНЕГО ВИДА НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Марина Николаевна Школьникова¹, Евгений Дмитриевич Рожнов²,

¹ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия,
shkolnikova.mn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

² Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Бийск, Россия
red@btu.secreta.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

Аннотация. Цвет и прозрачность напитков являются важнейшими сенсорными атрибутами, способными оказывать психоэмоциональное и физиологическое воздействие на потребителя. Напитки из плодового сырья на этапе реализации подвержены опалесценции, помутнениям и осадкам, обусловленным составом плодов и непрекращающимся взаимодействием его компонентов в напитках. Цель работы состояла в исследовании внешнего вида различных групп напитков из плодового сырья физическими методами. Объектами явились напитки: непрозрачных темноокрашенных – коммерческие образцы бальзамов «Золотой век», «Арский камень», «Башкирский», прозрачные светлоокрашенные экспериментальные образцы напитков из плодов *Hippophaerhamnoides* сорта Чуйская – осветленный сок, сухой облепиховый виноматериал, специальное плодовое вино, внешний вид которых исследован физическими методами: электрофорезом, микроскопией, оптическими. Показано, что применение данных методов подтверждает коллоидную природу непрозрачных бальзамов. При проведении электрофореза отмечено наибольшее образование агломератов у положительного электрода, что свидетельствует об отрицательно заряженной природе образовавшихся коллоидных частиц, основные изменения фиксируются в значениях времени воздействия тока от 8 до 30 мин с силой тока 0,1–0,6 А. Пикообразные изменения фиксируют точку помутнения или точку образования макромолекулярных агломератов, микрокопирование образцов показывает образование агломерированных скоплений в виде частиц шаровидной формы размером около 1–2 нм. Для прозрачных светлоокрашенных напитков из плодов *Hippophaerhamnoides* были определены оптические характеристики при определенных длинах волн, которые послужили основой для расчета показателей интенсивности цвета, оттенка и желтизны. Показано, что в результате хранения напитков из облепихи увеличивается показатель интенсивности цвета и желтизна напитков, а также снижается значение оттенка цвета, что позволяет осуществить разработку методов определения сроков хранения напитков из облепихи. Результаты исследований открывают перспективы внедрения физических методов в практику лабораторий технохимического контроля изготавителей широкого ассортимента напитков из растительного сырья.

Ключевые слова: напитки, прозрачность, цвет, оптические методы, электрофорез, микроскопия, коллоидные помутнения.

Для цитирования: Школьникова М. Н., Рожнов Е. Д. Физические методы исследования в объективной оценке внешнего вида напитков из растительного сырья // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 151–163. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.019. EDN: <https://elibrary.ru/JZWLEG>.

Original article

PHYSICAL METHODS OF INVESTIGATIONIN OBJECTIVE EVALUATION OF THE APPEARANCE OF DRINKS FROM PLANT RAW MATERIAL

Marina N. Shkolnikova ¹, Evgeny D. Rozhnov ²

¹ Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia
shkolnikova.mn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

² Biysk Technological Institute (Branch) of the Altay State Technical University, Biysk, Russia
red@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

Abstract. The color and transparency of drinks are the most important sensory attributes that can have a psycho-emotional and physiological impact on the consumer. Drinks from fruit raw materials at the marketing stage are subject to opalescence, turbidity and precipitation, due to the composition of the fruit and the ongoing interaction of its components in drinks. The purpose of the work was to study the appearance of various groups of drinks from fruit raw materials by physical methods. The objects were drinks: opaque dark-colored - commercial samples of balms "Zolotojek", "Arskijkamen", "Bashkirskij", transparent light-colored experimental samples of drinks from the fruits of Hippophaerhamnoidea variety Chuiskaya - clarified juice, dry sea buckthorn wine material, special fruit wine, external the appearance of which was studied by physical methods: electrophoresis, microscopy, optical. It is shown that the use of these methods confirms the colloidal nature of opaque balms. During electrophoresis, the greatest formation of agglomerates was noted at the positive electrode, which indicates the negatively charged nature of the formed colloidal particles, the main changes are recorded in the values of the current exposure time from 8 to 30 minutes with a current strength of 0.1-0.6A. Peak-like changes fix the cloud point or the point of formation of macromolecular agglomerates, microscopy of samples shows the formation of agglomerated clusters in the form of spherical particles about 1-2 nm in size. For transparent light-colored drinks from the fruits of Hippophaerhamnoidea, optical characteristics were determined at certain wavelengths, which served as the basis for calculating the indicators of color intensity, hue and yellowness. It is shown that as a result of storage of sea buckthorn drinks, the color intensity index and the yellowness of drinks increase, as well as the value of the color shade decreases, which allows the development of methods for determining the shelf life of sea buckthorn drinks. The results of the research open up prospects for the introduction of physical methods into the practice of laboratories for technicochemical control of manufacturers of a wide range of drinks from vegetable raw materials.

Keywords: drinks, transparency, color, optical methods, electrophoresis, microscopy, colloidal opacities.

For citation: Shkolnikova, M.N. & Rozhnov, E.D. (2023). Physical methods of investigation in objective evaluation of the appearance of drinks from plant raw material. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 151-163. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.019. EDN: <https://elibrary.ru/JZWLEG>.

ВВЕДЕНИЕ

Внешний вид является важнейшим сенсорным атрибутом напитков и складывается из гармоничного сочетания цвета, прозрачности и блеска. Именно на внешний вид напитков обращают внимание потребители в первую очередь, доверяя своему визуальному восприятию больше, чем запаху и вкусу [1, 2]. Цвет напитков способен оказывать психоэмоциональное и физиологическое воздействие

на потребителя [3]. Так, имеются данные, что цвет существенно влияет на способность потребителя правильно идентифицировать вкус, формировать четкие вкусовые профили и предпочтения, а также доминирует над другими источниками информации о вкусе, включая маркировку [4, 5]. Что касается прозрачности напитков, то потребители обычно ожидают, что напитки (фильтрованное пиво, вино, прозрачные фруктовые соки и др.) будут прозрачными и без мутности в течение обычного сро-

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ВНЕШНЕГО ВИДА НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

ка годности, так как срок годности большинства напитков ограничен изменениями именно их внешнего вида: замутненностью, опалесценцией, различной природы осадками. Мутные напитки часто ассоциируются с дефектными и возможно потенциально опасными.

Одной из современных тенденций производства алкогольных и безалкогольных напитков является использование обуславливающих функциональные свойства плодового сырья и полученных из него полуфабрикатов, которые, по мнению экспертов рынка, должны быть гармонично связаны с цветовыми и вкусовыми ощущениями от напитка [6, 7]. При этом использование естественной цветовой гаммы сырья дополнительно привлекает внимание потребителей за счет формирования натурального внешнего вида. На сегодня улучшение внешнего вида – основная причина использования пищевых красителей преимущественно синтетических, не имеющих никакой пищевой ценности и частично потенциально опасных для здоровья [8].

В настоящее время перед производителями напитков из плодового сырья стоит задача по эффективному и своевременному мониторингу цвета и прозрачности выпускаемой продукции, будь то физические методы исследования или визуальная оценка. Несмотря на то, что во многих прозрачных напитках допускается обусловленная особенностями используемого сырья опалесценция (пиво, вино, соки, настойки, наливки и др.), для потребителей важны кристальная прозрачность и чистый цвет напитков. Визуальная оценка прозрачных напитков носит субъективный характер, а методы оценки прозрачности и мутности непрозрачных и полупрозрачных напитков несовершены, и требуют использование дополнительного оборудования, построения градиуровочных зависимостей, использование стандартных растворов мутности, например, формазиновой супензии [9–11].

Как правило, напитки представляют собой прозрачные жидкости интенсивного цвета, соответствующего цвету исходного сырья (соки, вино, наливки, настойки, аперитивы и др.). Вместе с тем, на рынке представлена группа интенсивно окрашенных (от краснокоричневого до темно-коричневого), не всегда прозрачных напитков – бальзамов – безалкогольных и крепостью 30–45 % с пряным ароматом, в составе которых присутствуют плодовые полуфабрикаты: экстракты, соки, морсы и ароматные спирты, сахарный сироп, колер и другие ингредиенты. Такие напитки подвержены физико-химическим помутнени-

ям, так как высокомолекулярные вещества коллоидной природы полуфабрикатов: полисахариды, полифенольные вещества, пектини и другие – нестабильны, благодаря наличию аминных, карбоксильных и фенолкарбоксильных групп [12–15]. Взвеси образуют и высокомолекулярные красящие вещества сахарного колера, обладающие оксиредуцирующими свойствами и имеющие способность служить переносчиками кислорода в процессе реакции окисления полифенольных веществ плодовых полуфабрикатов, в результате которых образуются нерастворимые соединения [16]. Таким образом, бальзамы представляют собой сложную коллоидную систему, равновесие которой при определенных условиях может нарушиться, что повлечет за собой появление муты и в дальнейшем – осадка. На этапе реализации встречаются бальзамы, в которых имеется осадок – коллоидные и кристаллические помутнения, из которых первые – объективные помутнения, обусловленные составом сырья и его непрекращающимся взаимодействием его компонентов в напитках. Выпадение коллоидных осадков (коагуляция) связано, как правило, с конденсацией фенольных соединений, плодовых полуфабрикатов с сахаром, колером, медом и другими продуктами пчеловодства, пантовыми продуктами и др. Отдельные коагулянты (полифенолы, декстрины и пентозаны) имеют в растворах свойства лиофильных (или лиофобных) золей. Выпадение осадка характерно для коллоидного раствора. Проведенный авторами обширный тематический поиск показал, что исследования, посвященные анализу причин изменения внешнего вида, в частности, прозрачности бальзамов, отсутствуют. В связи с чем проведенные физическими методами аналитические исследования, которые, на первый взгляд, кажутся несложными и незначительными, являются оригинальными и новыми в данной области.

Для соков и вин в целом характерны аналогичные причины и механизмы образования помутнений и осадков при хранении в потребительской упаковке [17–21].

По мнению специалистов, употребление напитков из плодового сырья может внести существенный вклад в ликвидацию дефицита микронутриентов (витаминов, полифенольных и пектиновых веществ и др.). При этом к идеальному сырью можно отнести облепиху крушиновидную (*Hippophae rhamnoides*), плоды которой содержат значительное количество витаминов А, С, Е, каротиноидов и полифенолов, в связи с чем ее принято относить к категории «суперфруктов» [22–24].

Необходимость контроля оптических свойств напитков из облепихи обусловлена во многом химическим составом ягод. Во-первых, ягоды облепихи богаты фенольными соединениями различных классов, многие из которых являются достаточно реакционно-способными, вступая в реакции полимеризации и конденсации с образованием темноокрашенных продуктов [25–27]; во-вторых, ягоды облепихи богаты аскорбиновой кислотой, которая сама по себе является веществом, связывающим кислород и препятствующим глубокому протеканию окислительных процессов, связанных с изменением цвета напитков [28–31]. С другой стороны, при наличии в продуктах большого количества ионов металлов, кислот и ряда других соединений, а также под воздействием тепловой энергии скорость деградации аскорбиновой кислоты значительно увеличивается, и в результате самопроизвольной дегидратации и декарбоксилирования возможно образование фурфурола – соединения, являющегося интермедиатом реакции меланоидинообразования, вызывающей потемнение продуктов питания [32].

Объективным способом оценки внешнего вида прозрачных напитков является исследование оптических или так называемых хроматических характеристик, таких как интенсивность и оттенок цвета [33, 34], а также определение координат цвета в системе CIE Lab [35–40]. На основании измерения хроматических характеристик напитков возможен расчет такого показателя, как желтизна цвета, который в последнее время широко внедряется в практику контроля качества многих пищевых продуктов и характеризует степень изменения цвета белого (прозрачного) образца на желтый.

Стоит отметить, что исследование природы физико-химических помутнений непрозрачных напитков (на примере бальзамов и оптических характеристик прозрачных напитков (на примере ряда напитков из плодов облепихи) следует считать обязательной процедурой технологического процесса их производства. При этом сложившаяся мировая ситуация требует, с одной стороны, использование современных методов физико-химических исследований напитков, с другой – максимально простых и экспрессных с сохранением достоверности результатов. Таким образом, разработка и внедрение несложных, доступных и объективных физических методов, позволяющих в условиях производственных лабораторий проводить исследование внешнего вида прозрачных и непрозрачных напитков из плодового сырья, является актуальной и свое временной.

Цель работы состояла в исследовании внешнего вида различных видов алкогольных и безалкогольных напитков из плодового сырья физическими методами для установления возможности их использования в практике технохимического контроля.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования являлись:

а) непрозрачные темноокрашенные напитки: коммерческие образцы бальзамов торговых наименований «Золотой век», «Арский камень», «Башкирский», приобретенные в розничном ритейле;

б) прозрачные светлоокрашенные напитки: осветленный сок облепихи (титруемая кислотность $4,5 \pm 0,1$ г/дм³, содержание сахара – $90,0 \pm 2,5$ г/дм³), сухой облепиховый виноматериал (крепость – $11,7 \pm 0,5$ % об., содержание сахара – $1,5 \pm 0,3$ г/дм³), специальное плодовое вино (крепость – 21 % об., содержание сахара – 210 г/дм³), полученные из облепихи сорта Чуйская (урожай 2020 года, место сбора сырья – г. Барнаул, НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко). Осветление сока проводили бентонитом в дозировке 3,5 г/дм³ с последующей фильтрацией через фильтр-картон с рейтингом фильтрации 1 мкм. Виноматериал получали путем сбраживания дрожжами Oenoferm (раса LW 317-28, производитель Erbslöh Geisenheim AG, Германия) с последующим осветлением бентонитом в дозировке 3,5 г/дм³ и фильтрацией. Специальное плодовое вино получали методом купажирования виноматериала с сахарным сиропом (67,5 % сухих веществ) и спиртом этиловым ректифицированным.

Определение склонности бальзамов к образованию агломератов, обусловленных коллоидной природой образующихся частиц, осуществляли методом электрофореза с использованием самостоятельно изготовленных кювет, снабженных электродами. Метод основан на интенсификации столкновений и соударений коллоидных частиц бальзамов под действием электрического поля, что приводит к образованию подвижных макромолекулярных агломератов, обладающих результирующим дзета-потенциалом и направляющихся к противоположно заряженному электроду.

Микроскопические исследования природы осадков проводили, используя технику светлопольной микроскопии с применением светового микроскопа Микромед 3 вар. 3-20 М (Россия, ООО «Наблюдательные приборы») и увеличении $\times 200$.

Размер макромолекулярных агломера-
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2023

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ВНЕШНЕГО ВИДА НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

тов, образующихся при воздействии на образцы бальзамов электрического поля, изучали методом сканирующей электронной микроскопии с помощью микроскопа JSM-840 (Япония) при увеличении $\times 1000$.

Светорассеивание в образцах бальзамов исследовали с использованием оптического эффекта Тиндаля, заключающегося в наблюдении светящегося конуса, видимого на темном фоне при пропускании через объект светового пучка (использован лазерный луч с длиной волны 655 нм).

Идентификацию флавоноидов, дубильных веществ и пектиновых веществ проводили с помощью известных качественных реакций, в основе которых лежит способность последних образовывать окрашенные комплексы и/или осадок при добавлении определенных соединений.

Оптические характеристики исследуемых образцов напитков из облепихи определяли согласно действующим методическим рекомендациям OIV с использованием спектрофотометра UV-1800 (Япония, Shimadzu). На основании полученных оптических характеристик напитков в работе рассчитывали:

- значение показателя интенсивности цвета, определяемого как сумму показателей абсорбции напитка при длинах волн 420, 520 и 620 нм (I):

$$I = A_{420} + A_{520} + A_{620};$$

- значение показателя оттенка цвета напитка, определяемого как отношение показателей абсорбции, измеренных при длинах волн 420 и 520 нм (N):

$$N = A_{420} / A_{520};$$

- значение показателя желтизны цвета (G , %), определяемого по формуле:



Рисунок 1 – Внешний вид осадков бальзамов при микроскопировании

Figure 1 - Appearance of balsam sediments under microscopy

При исследовании оптических свойств образцов бальзамов с осадком и прозрачных на вид обнаружена опалесценция, а при про-

хождении светового луча через образцы бальзамов наблюдалось рассеяние света в виде светящегося конуса (конус Тиндаля),

$$G = \frac{(1,28X - 1,06Z)100}{Y},$$

где X , Y и Z – координаты цвета в системе CIE:

$$X = 0,42 \cdot T_{625} + 0,35 \cdot T_{550} + 0,21 \cdot T_{445}$$

$$Y = 0,20 \cdot T_{625} + 0,63 \cdot T_{550} + 0,17 \cdot T_{495}$$

$$Z = 0,24 \cdot T_{495} + 0,94 \cdot T_{445}$$

где T_{625} , T_{550} , T_{445} , T_{495} – коэффициенты пропускания напитка, определенные относительно дистиллированной воды при соответствующих длинах волн, %.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе дегустационной оценки установлено, что по внешнему виду образцы бальзамов представляют собой прозрачные жидкости темно-коричневого цвета без блеска, с осадком, распределяющимся в напитке при взбалтывании бутылки, консистенция слегка затяжистая.

Отфильтрованные осадки представляют собой мелкодисперсные, темноокрашенные частицы. Можно предположить, что осадки в данных бальзамах существовали в кристально чистом на взгляд напитке, долго находились во взвешенном состоянии и постепенно осели на дно. После препарирования осадков нескольких образцов бальзамов зафиксированы скопления в виде частиц шаровидной формы диаметром 1–2 мкм (рисунок 1). Из рисунка 1 видно, что осадки внешне схожи, растительная природа осадков подтверждена качественными реакциями – в их составе идентифицированы дубильные вещества, флавоноиды и пектин.

видимого на тёмном фоне, что характерно для оптически неоднородных сред, в том числе коллоидных систем.

В литературе приведены данные, доказывающие, что электрофоретические методы являются важным инструментом для экспресс-анализа как продуктов питания и напитков: крепко-алкогольных и плодовых / виноградных вин [41], молочных напитков [42], осадков в резервуарах с питьевой водой [43] и другие, так и для идентификации состава и степени чистоты фармацевтических субстанций [44].

При исследовании электрофоретической

подвижности частиц осадка исследуемых бальзамов были использованы микроячейки (рисунок 2) (диаметр зоны 10 мм, глубина ячейки 2 мм), что позволяет проводить исследования с небольшим количеством образца. В результате действия постоянного электрического тока в исследуемых образцах бальзамов происходит образование хлопьевидных агломерированных макромолекул. Показано, что при проведении электрофореза отмечено наибольшее образование агломератов у положительного электрода, что свидетельствует об отрицательно заряженной природе образовавшихся коллоидных частиц.

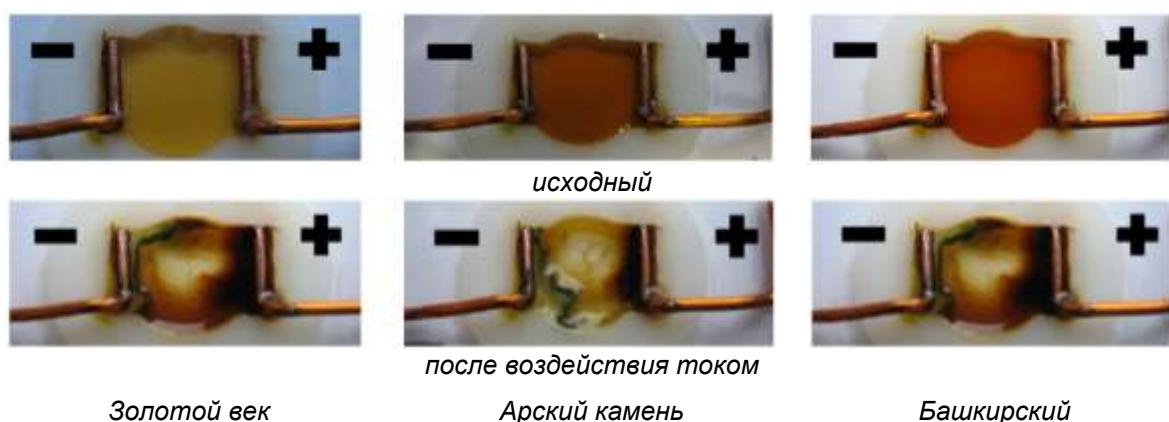


Рисунок 2 – Внешний вид бальзамов до и после обработки электрическим полем

Figure 2 - Appearance of balms before and after treatment with an electric field

Микрокопирование образцов при проведении электрофореза показывает образование агломерированных скоплений независимо от товарной марки образца (зависят только от времени проведения опыта). Характеристика скоплений имеет следующие па-

метры после препарирования осадков: зафиксированы частицы шаровидной формы размером около 1–2 нм, как представлено на рисунке 3. Основные изменения фиксируются в значениях времени воздействия тока от 8 до 30 минут с силой тока 0,1–0,6 А (рисунок 4).



Рисунок 3 – Микрофотографии осадка бальзамов

Figure 3 - Microphotographs of balms sediment

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ВНЕШНЕГО ВИДА НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

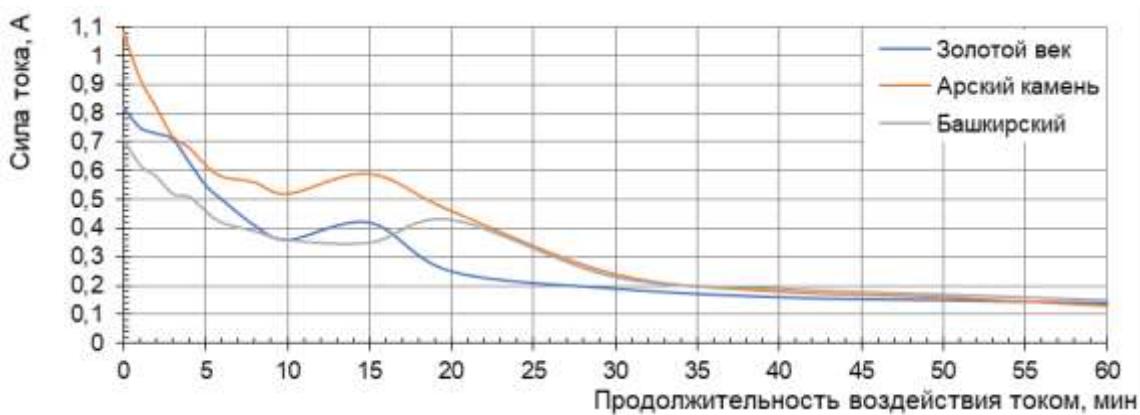


Рисунок 4 – Электрофоретические кривые бальзамов

Figure 4 - Electrophoretic curves of balms

Пикообразные изменения, видные на электрофоретических кривых, фиксируют точку по-мутнения или точку образования макромолекулярных агломератов, что и доказывает природу коллоидного состояния бальзамов. До этой точки агломерации раствор с молекулярной степенью дисперсности после образования макромо-

лекул раствор представляет собой дисперсную систему в виде агломерированных скоплений.

Присутствие коллоидных частиц подтверждено методом электрофореза и может служить косвенным подтверждением использования растительного, в частности плодового, сырья при производстве образцов бальзамов.

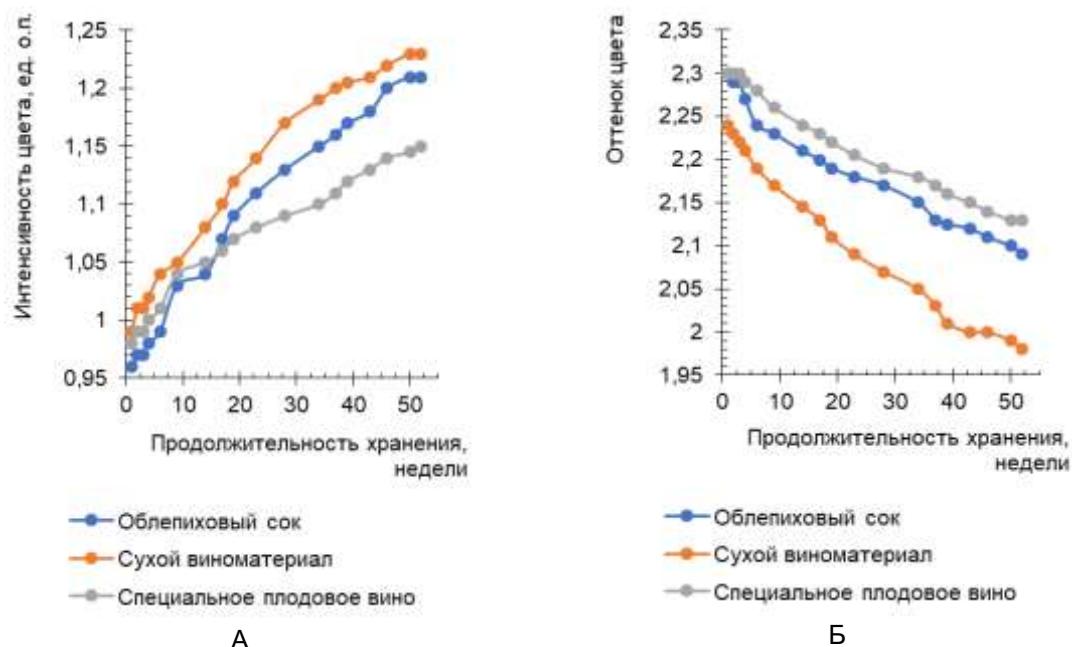


Рисунок 5 – Динамика интенсивности и оттенка цвета образцов напитков из облепихи при хранении

Figure 5 - Dynamics of color intensity and color hue of samples of sea buckthorn drinks during storage

На рисунке 5, А представлена динамика интенсивности цвета при хранении опытных образцов в темноте в течение 52 недель при температуре 22 ± 2 °C, относительной влажности 60 ± 5 %. Можно видеть, что в период хранения показатель интенсивности цвета увеличивается, однако визуально изменения в цвете относительно начального периода хранения становят-

ся различимы только после 20–30 недель хранения напитков (увеличение интенсивности цвета в 1,12–1,18 раза). При этом можно отметить, что в напитках из облепихи, содержащих сахара, увеличение показателя интенсивности цвета происходит медленнее, что возможно связано с консервирующим действием сахаров, что было показано в работе [47].

Напитки из облепихи ввиду высокого содержания реакционноспособных полифенольных веществ, в частности полифенолов [45] или за счет протекания карбониламинной реакции [46, 47], в значительной степени подвергаются изменению внешнего вида, в том числе и в процессе реализации.

Изменение показателя оттенка цвета при хранении напитков связано в первую очередь со снижением его абсолютного значения. Как и в случае с интенсивностью цвета, при определении оттенка цвета образцов напитков отмечено более резкое изменение данного показателя для сухого виноматериала из облепихи. Вероятно, в случае отсутствия в напитке сахаров в достаточно высокой концентрации для влияния на окислительные процессы на первый план выходят процессы деградации аскорбиновой кислоты и конденсации полифенольных веществ.

Еще одним оптическим показателем, выражающим состояние цвета напитков, является желтизна, однако общепринятые нормы данного показателя установлены только для виноградных вин, что не позволяет полностью использовать показатель желтизны для оценки состояния напитков из плодово-ягодного сырья, в том числе из облепихи. Тем не менее, показатель желтизны был рассчитан для образцов напитков (рис. 6).

Согласно полученным результатам визуальной оценки образцов напитков при хранении в большей степени интенсивность коричневых

оттенков отмечалась для образца сухого облепихового виноматериала, что полностью согласуется в представленными на рисунке 6 данными об увеличении показателя желтизны.

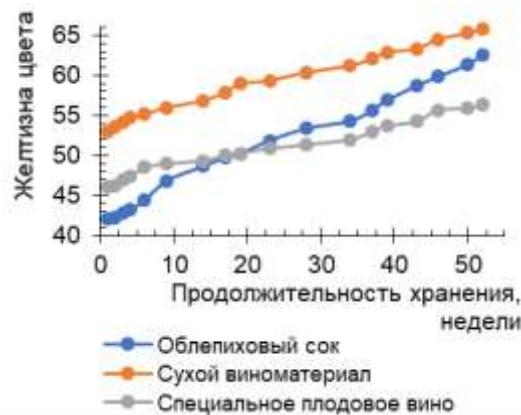


Рисунок 6 – Динамика желтизны цвета напитков из облепихи при хранении

Figure 6 - Dynamics of yellowness of the color of sea buckthorn drinks during storage

При расчете трихроматических характеристик вина (координат цвета xyz) с последующим вычислением координат X и Y (по системе координат CIE Lab), отмечено что в процессе хранения смещение координаты X (хроматическая зелено-красная ось) происходит более интенсивно, при том, что смещения координаты Y (хроматическая желто-синяя ось) практически не происходит (рис. 7).

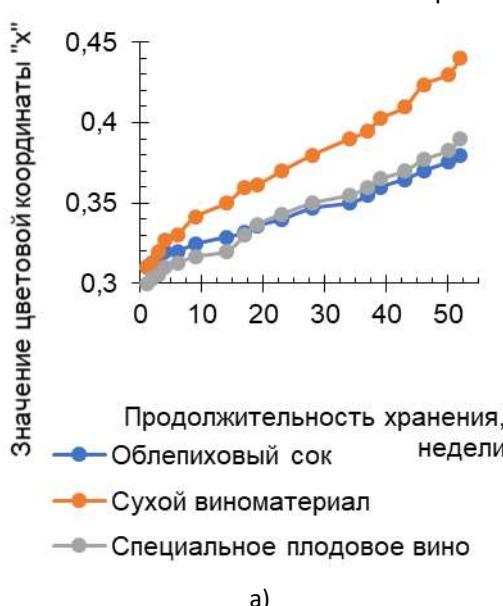


Рисунок 7 – Динамика значений цветовых координат « x » и « y » для напитков из облепихи при хранении

Figure 7 - Dynamics of the values of the color coordinates "x" and "y" for sea buckthorn drinks in storage

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ВНЕШНЕГО ВИДА НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

ОБСУЖДЕНИЕ

В эксперименте доказана возможность использования физических методов исследования – электрофореза и светлопольной микроскопии в объективной оценке внешнего вида непрозрачных напитков из плодового сырья. Установлено, что при прохождении светового луча через образцы бальзамов наблюдалось рассеяние света в виде светящегося конуса Тиндаля, видимого на тёмном фоне, что характерно для оптически неоднородных сред, в том числе коллоидных систем.

При проведении электрофореза отмечено наибольшее образование агломератов у положительного электрода, что свидетельствует об отрицательно заряженной природе образовавшихся коллоидных частиц, основные изменения фиксируются в значениях времени воздействия тока от 8 до 30 мин с силой тока 0,1–0,6 А. Пикообразные изменения фиксируют точку помутнения или точку образования макромолекулярных агломератов, микрокопирование образцов показывает образование агломерированных скоплений в виде частиц шаровидной формы размером около 1–2 нм. Проведение данных исследований непрозрачных напитков, в том числе типа бальзамов, в технологическом цикле дает изготовителям возможность своевременно скорректировать параметры некоторых технологических этапов, в частности получение плодовых спиртованных полуфабрикатов требуемой прозрачности, оклейка купажей, фильтрование и др.

Доказано, что в объективной оценке основополагающих органолептических показателей прозрачных напитков из плодового сырья – интенсивности и чистоты цветового тона и прозрачности – эффективным и необходимым является контроль их оптических характеристик. Плодовые напитки в значительной степени подвергаются изменению внешнего вида, в том числе и в процессе реализации, ввиду высокого содержания реакционноспособных веществ или за счет протекания карбониламинной реакции. В эксперименте установлено, что при хранении прозрачных напитков из облепихи интенсивность цвета усиливается уже на 5–7 неделях и увеличивается в 1,12–1,18 раза через 52 недели, тогда как визуально изменения в цвете становятся различимы только после 20–30 недель хранения напитков. Показано, что данный процесс в большей степени присущ сухим виноматериалам, что, по всей видимости, обусловлено процессами деградации аскор-

биновой кислоты и конденсации полифенольных веществ.

Таким образом, результаты проведенных авторами исследований открывают перспективы внедрения физических методов в практику лабораторий технохимического контроля изготавителей различных групп напитков из плодового сырья.

ВЫВОДЫ

Внешний вид напитков является одним из основополагающих факторов для потребителя, поэтому своевременный контроль и выявление причин изменения внешнего вида напитков представляет значительную производственную проблему.

Показано, что использование методов микроскопии и электрофореза позволяет прогнозировать изменения внешнего вида бальзамов – напитков на растительном сырье. Таким образом, внедрение данных способов исследований в производстве позволит контролировать изменения внешнего вида напитков данного типа.

Установлено, что использование расчетных показателей интенсивности цвета, оттенка цвета, желтизны, а также координат цвета позволяет разработать метод прогнозирования срока годности прозрачных напитков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Siebert K.J. Haze in Beverages // Advances in Food and Nutrition Research. 2009. Vol. 57. P. 53–86. DOI 10.1016/S1043-4526(09)57002-7.
2. Heat and light stability of natural yellow colourants in model beverage systems / M. Cerretti [et al.] // Food Additives and Contaminants Part a-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment. 2020. Vol. 37. № 6. P. 905–915. DOI 10.1080/19440049.2020.1744739.
3. Elliot A.J., Maier M.A. Color psychology: Effects of perceiving color on psychological functioning in humans // Annual review of psychology. 2014. Vol. 65. № 1. P. 95–120. DOI 10.1146/annurev-psych-010213-115035.
4. The effects of food color on perceived flavor / Jr. Garber [et al.] // Journal of Marketing Theory and Practice. 2000. Vol. 8. № 4. P. 59–72.
5. Koch C., Koch E.C. Preconceptions of taste based on color // Journal of Psychology. 2003. Vol. 137. № 3. P. 233–242. DOI 10.1080/00223980309600611.
6. Influence of information received by the consumer on the sensory perception of processed orange juice / G.S. Pereira [et al.] // Journal of sensory studies. 2019. Vol. 34. № 3. e12497. doi: 10.1111/joss.12497.
7. Comparison of consumer-based methodologies for sensory characterization: Case study with four

- sample sets of powdered drinks / L. Antúnez [et al.] // Food quality and preference. 2017. Vol. 56. P. 149–163. DOI 10.1016/j.foodqual.2016.09.013.
8. Development and validation of a multipurpose and multicomponent method for the simultaneous determination of six synthetic dyes in different food-stuffs by HPLC-UV-DAD / A.M.D.S.S. Cheibub [et al.] // *Food chemistry*. 2020. Vol. 323. 126811. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.126811.
9. Dorea C.C., Simpson M.R. Turbidity tubes for drinking water quality assessments // *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*. 2011. Vol. 1. № 4. P. 233–241. doi: 10.2166/washdev.2011.058.
10. Assessing Coagulant Dosage in Full-Scale Drinking Water Treatment Plants Using Nephelometry / W.P. Cheng [et al.] // *Environmental Engineering Science*. 2011. Vol. 29. № 3. P. 212–217. DOI 10.1089/ees.2010.0477.
11. Monitoring floc formation to achieve optimal flocculation in water treatment plants / W.P. Cheng, [et al.] // *Environmental Engineering Science*. 2010. Vol. 27. № 6. P. 523–530. DOI 10.1089/ees.2010.0065.
12. Effects of propylene glycol alginate and sucrose esters on the physicochemical properties of modified starch-stabilized beverage emulsions / K.W. Cheong [et al.] // *Molecules*. 2014. Vol. 19. № 6. P. 8691–8706. DOI 10.3390/molecules19068691.
13. Kolniak-Ostek J., Oszmiański J., Wojdylo A. Effect of apple leaves addition on physicochemical properties of cloudy beverages // *Industrial Crops and Products*. 2013. Vol. 44. P. 413–420. DOI 10.1016/j.indcrop.2012.12.003.
14. Caleguer V.D.F. & Benassi M.D.T. Effect of adding pulp, carboxymethyl cellulose and arabic gum to sensory characteristics and acceptance of powdered orange-flavored refreshments // *Food Science and Technology*. 2007. Vol. 27. P. 270–277. DOI 10.1590/S0101-20612007000200010.
15. Dickinson, E. Colloidal aspects of beverages // *Food chemistry*. 1994. Vol. 51. № 4. P. 343–347. DOI 10.1016/0308-8146(94)90184-8.
16. Eggleston G., Triplett A. Formation of polyphenol-denatured protein flocs in alcohol beverages sweetened with refined cane sugars. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2017. Vol. 65. № 44. P. 9703–9714. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b03185.
17. Use of grape seeds to reduce haze formation in white wines / E. Romanini [et al.] // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 341. 128250. DOI 10.1016/j.foodchem.2020.128250.
18. Protection of wine from protein haze using *Schizosaccharomyces japonicus* polysaccharides / V. Millarini [et al.] // *Foods*. 2020. Vol. 9. № 10. 1407. DOI 10.3390/foods9101407.
19. Effect of flotation and vegetal fining agents on the aromatic characteristics of Malvasia del Lazio (*Vitis vinifera* L.) wine / S. Pettinelli [et al.] // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020. Vol. 100. № 14. P. 5269–5275. DOI 10.1002/jsfa.10577.
20. Türkyılmaz M., Hamzaoğlu F., Özkan M. Combined use of hydrocolloids in pomegranate juice and their effects on clarification and copigmentation // *International Journal of Food Science & Technology*. 2020. Vol. 55. № 4. P. 1426–1436. DOI 10.1111/ijfs.14409.
21. Turbidity, antioxidant compounds, color, and dynamics of clarification of bayberry juice using various polysaccharide-based clarifying agents / H. Chen [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019. Vol. 43. № 7. e13980. DOI 10.1111/jfpp.13980.
22. Superfruit in the Niche-Underutilized Sea Buckthorn in Gilgit-Baltistan, Pakistan / M.A. Nawaz [et al.] // *Sustainability*. 2019. Vol. 11. № 20. 5840. doi: 10.3390/su11205840.
23. Bioactive compounds, antioxidant activities, and health beneficial effects of selected commercial berry fruits: A review / B.V. Nemzer [et al.] // *Journal of Food Research*. 2020. Vol. 9. № 5. P. 78–101. DOI 10.5539/jfr.v9n5p78.
24. Analysis of lipophilic and hydrophilic bioactive compounds content in sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries / M. Teleszko [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015. Vol. 63. № 16. P. 4120–4129. DOI 10.1021/acs.jafc.5b00564.
25. Effects of heat and shallot (*Allium ascalonicum* L.) supplementation on nutritional quality and enzymatic browning of apple juice / A. Phaiphan [et al.] // *Journal of food science and technology*. 2019. Vol. 56. № 9. P. 4121–4128. DOI 10.1007/s13197-019-03882-8.
26. Formation of 5-hydroxymethylfurfural in industrial-scale apple juice concentrate processing / Z. Li [et al.] // *Food control*. 2019. Vol. 102. P. 56–68. DOI 10.1016/j.foodcont.2019.03.021.
27. Tannase improves gallic acid bioaccessibility and maintains the quality of mango juice / M.A. Sirven [et al.] // *International Journal of Food Science & Technology*. 2019. Vol. 54. № 5. P. 1523–1529. DOI 10.1111/ijfs.13929.
28. Influence of pH and composition on non-enzymatic browning of shelf-stable orange juice during storage / H.T. Pham [et al.] // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2020. Vol. 68. № 19. P. 5402–5411. DOI 10.1021/acs.jafc.9b07630.
29. Dhar R., Chakraborty S. Influence of voltage and distance on quality attributes of mixed fruit beverage during pulsed light treatment and kinetic modeling // *Journal of Food Process Engineering*. 2020. Vol. 43. № 11. e13517. DOI 10.1111/jfpe.13517.
30. Paravisini L., Peterson D.G. Mechanisms non-enzymatic browning in orange juice during storage // *Food chemistry*. 2019. Vol. 289. P. 320–327. DOI 10.1016/j.foodchem.2019.03.049.
31. Kinetic modelling of non-enzymatic browning and changes of physio-chemical parameters of peach juice during storage / J. Lyu [et al.] // *Journal of food science and technology*. 2018. Vol. 55. № 3. P. 1003–1009. DOI 10.1007/s13197-017-3013-x.
32. Investigation of the conditions for the formation of 5-Hydroxymethylfurfural in the production of honey wines and sea-buckthorn wine drinks / E. Rozhnov [et al.] // *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2019. Vol. 12. № 7. P. 3501–3506. DOI 10.5958/0974-360X.2019.00595.X.

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ВНЕШНЕГО ВИДА НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

33. Shkolnikova M., Rozhnikov E., Pryadikhina A. Effects of Granuloc activated carbons on sensory properties of sea-buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.) wines // Foods and Raw materials. 2019. Vol. 7. № 1. P. 67–73. DOI 10.21603/2308-4057-2019-1-67-73.
34. Optical properties of sea buckthorn drinks as the main physical characteristic of their quality / E.D. Rozhnikov [et al.] // In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 613. № 1. P. 012126. IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/613/1/012126.
35. Volatile profiles and chromatic characteristics of red wines produced with *Starmerellabacillaris* and *Saccharomyces cerevisiae* / V. Englezos [et al.] // Food Research International. 2018. Vol. 109. P. 298–309. DOI 10.1016/j.foodres.2018.04.027.
36. Effect of the high-pressure treatments on the physicochemical properties of the young red wines supplemented with pyruvic acid / Y. Liu [et al.] // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2018. Vol. 48. P. 56–65. DOI 10.1016/j.ifset.2018.05.010.
37. Pre-fermentative cold maceration in presence of non-*Saccharomyces* strains: Evolution of chromatic characteristics of Sangiovese red wine elaborated by sequential inoculation / I. Benucci [et al.] // Food Research International. 2018. Vol. 107. P. 257–266. DOI 10.1016/j.foodres.2018.02.029.
38. Evolution of Sangiovese wines with varied tannin and anthocyanin ratios during oxidative aging / A. Gambuti [et al.] // Frontiers in chemistry. 2018. Vol. 6. № 63. DOI 10.3389/fchem.2018.00063.
39. Statistical interpretation of chromatic indicators in correlation to phytochemical profile of a sulfur dioxide-free mulberry (*Morus nigra*) wine submitted to non-thermal maturation processes / W. Tchabo [et al.] // Food chemistry. 2018. Vol. 239. P. 470–477. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.06.140.
40. Enological tannin effect on red wine color and pigment composition and relevance of the yeast fermentation products / I. García-Estevez [et al.] // Molecules. 2017. Vol. 22. № 12. 2046. DOI 10.3390/molecules22122046.
41. Sádecká J.L.O.D., Polonský, J. Electrophoretic methods in the analysis of beverages // Journal of Chromatography A. 2000. Vol. 880. № 1–2. P. 243–279. DOI 10.1016/S0021-9673(00)00426-X.
42. Electrophoretic analysis to detect and quantify additional whey in milk and dairy beverages / E.M.T.D. Souza [et al.] // Food Science and Technology. 2000. Vol. 20. P. 314–317. DOI 10.1590/S0101-20612000000300007.
43. Zhang H., Huang T., Liu T. Sediment enzyme activities and microbial community diversity in an oligotrophic drinking water reservoir, eastern China // PLoS One. 2013. Vol. 8. № 10, e78571. doi: 10.1371/journal.pone.0078571.
44. Shen X., Corey D.R. Chemistry, mechanism and clinical status of antisense oligonucleotides and duplex RNAs. Nucleic acids research. 2018. Vol. 46. № 4. P. 1584–1600. doi: 10.1093/nar/gkx1239.
45. Рожников Е.Д., Казарских А.О., Школьникова М.Н. Использование поливинилполипирролидонов для стабилизации фенольных веществ при производстве облепиховых соков // Индустрия питания. 2020. Т. 5. № 2. С. 37–43. DOI 10.29141/2500-1922-2020-5-2-5.
46. Севодина К.В., Рожников Е.Д., Севодин В.П. Формирование потребительских свойств облепиховых вин. Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 2. С. 32–34.
47. Севодина К.В., Рожников Е.Д., Севодин В.П. Роль сахарааминной реакции в процессе покоричневения облепихового вина. Виноделие и виноградарство. 2013. № 2. С. 17–19.

Информация об авторах

М. Н. Школьникова – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии питания Уральского государственного экономического университета.

Е. Д. Рожников – доктор технических наук, профессор кафедры «Биотехнология» Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

REFERENCES

1. Siebert, K.J. (2009). Haze in beverages. *Advances in food and nutrition research*, 57, 53–86.
2. Cerretti, M., Liburdi, K., Del Franco, F. & Esti, M. (2020). Heat and light stability of natural yellow colourants in model beverage systems. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 37(6), 905–915.
3. Elliot, A.J. & Maier, M.A. (2014). Color psychology: Effects of perceiving color on psychological functioning in humans. *Annual review of psychology*, 65(1), 95–120.
4. Garber Jr, L. L., Hyatt, E.M. & Starr Jr, R. G. (2000). The effects of food color on perceived flavor. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 8(4), 59–72.
5. Koch, C. & Koch, E.C. (2003). Preconceptions of taste based on color. *The Journal of psychology*, 137(3), 233–242.
6. Pereira, G.S., Honorio, A.R., Gasparetto, B.R., Lopes, C.M., Lima, D.C.D. & Tribst, A.A. (2019). Influence of information received by the consumer on the sensory perception of processed orange juice. *Journal of sensory studies*, 34(3), e12497. doi: 10.1111/joss.12497.
7. Antúnez, L., Vidal, L., de Saldamando, L., Giménez, A. & Ares, G. (2017). Comparison of consumer-based methodologies for sensory characterization: Case study with four sample sets of powdered drinks. *Food quality and preference*, 56, 149–163. doi: 10.1016/j.foodqual.2016.09.013.
8. Cheibub, A.M.D.S.S., de Lyra, E.S.B., Alves, B.J., Donagemma, R.A. & Netto, A.D.P. (2020). Development and validation of a multipurpose and multicomponent method for the simultaneous determination of six synthetic dyes in different foodstuffs by HPLC-UV-DAD. *Food chemistry*, 323, 126811. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126811.
9. Dorea, C.C. & Simpson, M.R. (2011). Turbidi-

- ty tubes for drinking water quality assessments. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 1(4), 233-241. doi: 10.2166/washdev.2011.058.
10. Cheng, W.P., Chen, P.H., Yu, R.F. & Chang, J.N. (2012). Assessing Coagulant Dosage in Full-Scale Drinking Water Treatment Plants Using Nephelometry. *Environmental Engineering Science*, 29(3), 212-217. doi: 10.1089/ees.2010.0477.
 11. Cheng, W.P., Chang, J.N., Chen, P.H., Yu, R.F., Huang, Y.W. & Hsieh, Y.J. (2010). Monitoring floc formation to achieve optimal flocculation in water treatment plants. *Environmental Engineering Science*, 27(6), 523-530. doi: 10.1089/ees.2010.0065.
 12. Cheong, K.W., Mirhosseini, H., Sheikh Abdul Hamid, N., Osman, A., Basri, M. & Tan, C.P. (2014). Effects of propylene glycol alginate and sucrose esters on the physicochemical properties of modified starch-stabilized beverage emulsions. *Molecules*, 19(6), 8691-8706. doi: 10.3390/molecules19068691.
 13. Kolniak-Ostek, J., Oszmiański, J. & Wojdyło, A. (2013). Effect of apple leaves addition on physicochemical properties of cloudy beverages. *Industrial Crops and Products*, 44, 413-420. doi: 10.1016/j.indcrop.2012.12.003.
 14. Caleguer, V.D.F. & Benassi, M.D.T. (2007). Effect of adding pulp, carboxymethyl cellulose and arabic gum to sensory characteristics and acceptance of powdered orange-flavored refreshments. *Food Science and Technology*, 27, 270-277. doi: 10.1590/S0101-20612007000200010.
 15. Dickinson, E. (1994). Colloidal aspects of beverages. *Food chemistry*, 51(4), 343-347. doi: 10.1016/0308-8146(94)90184-8.
 16. Eggleston, G. & Triplett, A. (2017). Formation of polyphenol-denatured protein flocs in alcohol beverages sweetened with refined cane sugars. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(44), 9703-9714. doi: 10.1021/acs.jafc.7b03185.
 17. Romanini, E., McRae, J.M., Bilogrevic, E., Colangelo, D., Gabrielli, M. & Lambri, M. (2021). Use of grape seeds to reduce haze formation in white wines. *Food Chemistry*, 341, 128250. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128250.
 18. Millarini, V., Igneisti, S., Cappelli, S., Ferraro, G., Adessi, A., Zanoni, B., ... & Domizio, P. (2020). Protection of wine from protein haze using Schizosaccharomycesjaponicus polysaccharides. *Foods*, 9(10), 1407. doi: 10.3390/foods9101407.
 19. Pettinelli, S., Pollon, M., Costantini, L., Bellincontro, A., Segade, S.R., Rolle, L. & Mencarelli, F. (2020). Effect of flotation and vegetal fining agents on the aromatic characteristics of Malvasia del Lazio (*Vitis vinifera* L.) wine. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(14), 5269-5275. doi: 10.1002/jsfa.10577.
 20. Türkyılmaz, M., Hamzaoglu, F. & Özkan, M. (2020). Combined use of hydrocolloids in pomegranate juice and their effects on clarification and copigmentation. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(4), 1426-1436. doi: 10.1111/ijfs.14409.
 21. Chen, H., Chen, Y., Ye, X., Liu, D. & Chen, J. (2019). Turbidity, antioxidant compounds, color, and dynamics of clarification of bayberry juice using various polysaccharide-based clarifying agents. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(7), e13980. doi: 10.1111/jfpp.13980.
 22. Nawaz, M.A., Khan, A.A., Khalid, U., Buerkert, A. & Wiegle, M. (2019). Superfruit in the Niche-Underutilized Sea Buckthorn in Gilgit-Baltistan, Pakistan. *Sustainability*, 11(20), 5840. doi: 10.3390/su11205840.
 23. Nemzer, B.V., Kalita, D., Yashin, A.Y. & Yashin, Y.I. (2020). Bioactive compounds, antioxidant activities, and health beneficial effects of selected commercial berry fruits: A review. *Journal of Food Research*, 9(5), 78-101. doi: 10.5539/jfr.v9n5p78.
 24. Teleszko, M., Wojdyło, A., Rudzinska, M., Oszmianski, J. & Golis, T. (2015). Analysis of lipophilic and hydrophilic bioactive compounds content in sea buckthorn (*Hippophaerhamnoides* L.) berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(16), 4120-4129. doi: 10.1021/acs.jafc.5b00564.
 25. Phaiphan, A., Panichakool, P., Jinawan, S. & Penjumras, P. (2019). Effects of heat and shallot (*Allium ascalonicum* L.) supplementation on nutritional quality and enzymatic browning of apple juice. *Journal of food science and technology*, 56(9), 4121-4128. doi: 10.1007/s13197-019-03882-8.
 26. Li, Z., Yuan, Y., Yao, Y., Wei, X., Yue, T. & Meng, J. (2019). Formation of 5-hydroxymethylfurfural in industrial-scale apple juice concentrate processing. *Food control*, 102, 56-68. doi: 10.1016/j.foodcont.2019.03.021.
 27. Sirven, M.A., Negrete, M. & Talcott, S.T. (2019). Tannase improves gallic acid bioaccessibility and maintains the quality of mango juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(5), 1523-1529. doi: 10.1111/ijfs.13929.
 28. Pham, H.T., Kityo, P., Buvé, C., Hendrickx, M.E. & Van Loey, A. M. (2020). Influence of pH and composition on nonenzymatic browning of shelf-stable orange juice during storage. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(19), 5402-5411. doi: 10.1021/acs.jafc.9b07630.
 29. Dhar, R. & Chakraborty, S. (2020). Influence of voltage and distance on quality attributes of mixed fruit beverage during pulsed light treatment and kinetic modeling. *Journal of Food Process Engineering*, 43(11), e13517. doi: 10.1111/jfpe.13517.
 30. Paravisini, L. & Peterson, D.G. (2019). Mechanisms non-enzymatic browning in orange juice during storage. *Food chemistry*, 289, 320-327. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.049.
 31. Lyu, J., Liu, X., Bi, J., Wu, X., Zhou, L., Ruan, W., ... & Jiao, Y. (2018). Kinetic modelling of non-enzymatic browning and changes of physio-chemical parameters of peach juice during storage. *Journal of food science and technology*, 55(3), 1003-1009. doi: 10.1007/s13197-017-3013-x.
 32. Rozhnov, E., Kazarskikh, A., Shkolnikova, M., Tretyak, L., Voitsekhovskiy, V., Maksimiuk, N. ... & Yessimbekov, Z. (2019). Investigation of the conditions for the formation of 5-Hydroxymethylfurfural in the production of honey wines and sea-buckthorn wine drinks. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 12(7), 3501-3506. doi: 10.5958/0974-360X.2019.00595.X.

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ВНЕШНЕГО ВИДА НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

33. Shkolnikova, M., Rozhnov, E. & Pryadikhina, A. (2019). Effects of Granucol activated carbons on sensory properties of sea-buckthorn (*Hippophaerhamnoides L.*) wines. *Foods and Raw materials*, 7(1), 67-73. doi: 10.21603/2308-4057-2019-1-67-73.
34. Rozhnov, E.D., Shkolnikova, M.N., Maksimuk, N.N., Voitsekhivskyi, V.I., Tikhomirov, E.A. & Bobkova, E.Y. (2020, December). Optical properties of sea buckthorn drinks as the main physical characteristic of their quality. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 613, No. 1, p. 012126). IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/613/1/012126.
35. Englezos, V., Rantsiou, K., Cravero, F., Torchio, F., Giacosa, S., Ortiz-Julien, A., ... & Cocolin, L. (2018). Volatile profiles and chromatic characteristics of red wines produced with *Starmerellabacillaris* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Research International*, 109, 298-309. doi: 10.1016/j.foodres.2018.04.027.
36. Liu, Y., He, F., Shi, Y., Zhang, B. & Duan, C.Q. (2018). Effect of the high-pressure treatments on the physicochemical properties of the young red wines supplemented with pyruvic acid. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48, 56-65. doi: 10.1016/j.ifset.2018.05.010.
37. Benucci, I., Cerreti, M., Liburdi, K., Nardi, T., Vagnoli, P., Ortiz-Julien, A. & Esti, M. (2018). Pre-fermentative cold maceration in presence of non-*Saccharomyces* strains: Evolution of chromatic characteristics of Sangiovese red wine elaborated by sequential inoculation. *Food Research International*, 107, 257-266. doi: 10.1016/j.foodres.2018.02.029.
38. Gambuti, A., Picariello, L., Rinaldi, A. & Moio, L. (2018). Evolution of Sangiovese wines with varied tannin and anthocyanin ratios during oxidative aging. *Frontiers in chemistry*, 6, 63. doi: 10.3389/fchem.2018.00063.
39. Tchabo, W., Ma, Y., Kwaw, E., Zhang, H., Xiao, L. & Apaliya, M.T. (2018). Statistical interpretation of chromatic indicators in correlation to phytochemical profile of a sulfur dioxide-free mulberry (*Morus nigra*) wine submitted to non-thermal maturation processes. *Food chemistry*, 239, 470-477. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.06.140.
40. García-Estévez, I., Alcalde-Eon, C., Puente, V. & Escribano-Bailón, M.T. (2017). Enological tannin effect on red wine color and pigment composition and relevance of the yeast fermentation products. *Molecules*, 22(12), 2046. doi: 10.3390/molecules22122046.
41. Sádecká, J.L.O.D. & Polonský, J. (2000). Electrophoretic methods in the analysis of beverages. *Journal of Chromatography A*, 880(1-2), 243-279. doi: 10.1016/S0021-9673(00)00426-X.
42. Souza, E.M.T.D., Arruda, S.F., Brandão, P.O. & Siqueira, E.M.D.A. (2000). Electrophoretic analysis to detect and quantify additional whey in milk and dairy beverages. *Food Science and Technology*, 20, 314-317. doi: 10.1590/S0010-20612000000300007.
43. Zhang, H., Huang, T. & Liu, T. (2013). Sediment enzyme activities and microbial community diversity in an oligotrophic drinking water reservoir, eastern China. *PLoS One*, 8(10), e78571. doi: 10.1371/journal.pone.0078571.
44. Shen, X. & Corey, D.R. (2018). Chemistry, mechanism and clinical status of antisense oligonucleotides and duplex RNAs. *Nucleic acids research*, 46(4), 1584-1600. doi: 10.1093/nar/gkx1239.
45. Rozhnov, E.D., Kazarskikh, A.O. & Shkolnikova, M.N. (2020). The use of polyvinylpolypyrrrolidones for the stabilization of phenolic substances in the production of sea buckthorn juices. *Food Industry*, 5(2), 37-43. doi: 10.29141/2500-1922-2020-5-2-5 (In Russ.).
46. Sevodina, K.V., Rozhnov, E.D. & Sevodin, V.P. (2013). Formation of consumer properties of sea buckthorn wines. *Storage and processing of agricultural raw materials*, (2), 32-34. (In Russ.).
47. Sevodina, K.V., Rozhnov, E.D. & Sevodin, V.P. (2013). The role of the saccharoamine reaction in the browning of sea buckthorn wine. *Winemaking and viticulture*, (2), 17-19. (In Russ.).

Information about the authors

M.N. Shkolnikova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Nutrition Technology Department Ural State University of Economics.

E.D. Rozhnov - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Biotechnology Department 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 10.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 10 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК 664.6

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.020

EDN: WBOEQL

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ КЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯГОД ИРГИ

Екатерина Валерьевна Мельникова ¹, Алексей Андреевич Беляков ²,
Надежда Александровна Величко ³

^{1, 2, 3} Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹ mev131981@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5889-6431>

² bellimfor@mail.ru

³ vena@kgau.ru

Аннотация. Здоровое население и их эмоциональное состояние зависит от компонентного и качественного состава употребляемых продуктов питания. Ежесуточно человек употребляет превышающую норму кондитерских изделий, несмотря на рекомендации института питания РАМН, где утверждена норма 50 грамм в сутки. Классические кондитерские изделия имеют высокую калорийность, большое содержание сахаров и жиров, что обуславливает среднюю минимальную калорийность таких изделий в пределах 300 ккал и выше. Современные разработчики продуктов питания с заданными свойствами стремятся создать продукт с повышенной пищевой ценностью, сбалансировать его состав в соответствии формуле сбалансированного питания. Привлекательным сырьем в этом отношении может послужить местное ягодное сырье. Полуфабрикат из ягод ирги включает в себя изюм ирги и порошок ирги. Порошок из ягод ирги взамен сахара в рецептуре кексов на химических разрыхлителях и сушеные ягоды ирги (изюм ирги) взамен сущеного винограда, снижает содержание углеводов, без отрицательного влияния на качество продукта.

В лаборатории института пищевых производств ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ изготовлены 5 испытуемых образцов, один из которых контрольный (без порошка ирги и изюма ирги), проведена их дегустационная оценка по органолептическим показателям по 5-балльной шкале. Оценивались такие показатели качества кекса, как вкус, аромат, форма, цвет. В представлении объективной оценки в работе представлены результаты физико-химического анализа кексов (контроля и 4 исследуемых образцов).

Результатом проведенных исследований по использованию порошка из ягод ирги, как заменителя сахара в рецептуре кекса и 100 % заменой изюма на сушеные ягоды ирги (изюм ирги) в 4 образцах стала разработка рецептуры и технологии кекса с частичной 50 % заменой сахара на порошок из ягод ирги и 100 % заменой сушеных ягод винограда на изюм ирги.

Кекс с использованием полуфабрикатов из ягод ирги с пониженным содержанием сахара разнообразит ассортимент мучных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности. Ягодный порошок из ирги и сушеные ягоды ирги, придаёт гармонию вкуса и оказывает значительное влияние на дегустационную оценку кекса, что заставит потребителя обратить внимание не только на внешний вид продукта и его новизну, но и на содержание в нем полезных веществ.

Ключевые слова: порошок из ягод ирги, сушеные ягоды ирги (ирга изюм), кекс, рецептура, технология, качество, калорийность.

Благодарности: работа выполнена при научно-методической поддержке Ачинского математического общества.

Для цитирования: Мельникова Е. В., Беляков А. А., Величко Н. А. Разработка рецептуры и технологии кекса с использованием ягод ирги // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 164 - 170. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.020. EDN: <https://elibrary.ru/WBOEQL>.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ КЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯГОД ИРГИ

Original article

DEVELOPMENT OF THE RECIPE AND TECHNOLOGY OF A CUPCAKE USING IRGI BERRIES

Ekaterina V. Melnikova¹, Alexey A. Belyakov², Nadezhda A. Velichko³

^{1, 2, 3} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹ mev131981@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5889-6431>

² bellimfor@mail.ru

³ vena@kgau.ru

Abstract. A healthy population and their emotional state depends on the component and qualitative composition of the food consumed. Every day a person consumes more than the norm of confectionery products, despite the recommendations of the Institute of Nutrition of the Russian Academy of Medical Sciences, where the norm of 50 grams per day is approved. Classic confectionery products have a high caloric content, a high content of sugars and fats, which determines the average minimum caloric content of such products in the range of 300 kcal and above. Modern developers of food products with specified properties strive to create a product with increased nutritional value, to balance its composition in accordance with the formula of balanced nutrition. Local berry raw materials can serve as an attractive raw material in this regard. The semi-finished product of irgi berries includes irgi raisins and irgi powder. Irgi berry powder instead of sugar in the cupcake recipe on chemical baking powder and dried irgi berries (irga raisins) instead of dried grapes, reduces the carbohydrate content, without adversely affecting the quality of the product.

In the laboratory of the Institute of Food Production of the Krasnoyarsk State Agrarian University, 5 test samples were prepared, one of which is a control (without irgi powder and irgi raisins), their tasting evaluation was carried out according to organoleptic indicators according to

on a 5-point scale. Such indicators of the quality of the cake as taste, aroma, shape, color were evaluated. In the presentation of an objective assessment, the paper presents the results of the physico-chemical analysis of cupcakes (control and 4 test samples).

The result of the conducted research on the use of irgi berry powder as a sugar substitute in the cupcake recipe and 100 % replacement of raisins with dried irgi berries (irgi raisins) in 4 samples was the development of a recipe and technology of a cupcake with a partial 50 % replacement of sugar with irgi berry powder and 100 % replacement of dried grapes with irgi raisins

A cupcake using semi-finished products from irgi berries with a reduced sugar content diversifies the range of flour confectionery products of increased nutritional value. Berry powder from irga and dried irga berries, gives harmony of taste and has a significant effect on the tasting evaluation of the cake, which will force the consumer to pay attention not only to the appearance of the product and its novelty, but also to the content of useful substances in it.

Keywords: cupcake, irga raisins, recipe, technology, quality, calorie content, powder from irgi berries.

Acknowledgements: the work was carried out with the scientific and methodological support of the Achinsk Mathematical Society.

For citation: Melnikova, E.V. Belyakov A.A. & Velichko N.A. (2023). Development of the recipe and technology of a cupcake using irgi berries. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 164-170. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.020. EDN: <https://elibrary.ru/> WBOEQL.

ВВЕДЕНИЕ

Красноярский край сегодня занимает лидирующие позиции в Сибири по производству продуктов питания из местного сырья, для создания стабильности в снабжении населения качественной продукцией и созданию рабочих мест, что позволяет снижать ежегодно процент безработных. Под влиянием таких немаловажных факторов встает необходимость в переработке местного, ещё не использовавшегося в промышленных

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 1 2023

масштабах растительного сырья и разработке на их основе продуктов сбалансированного улучшенного состава.

Перспективным направлением является переработка местного ягодного сырья и разработка на их основе кондитерских изделий, которые пользуются спросом у всех социальных слоёв населения [1].

Ягода ирга содержит комплекс витаминов и минеральных веществ, которая собирается в третьей декаде августа с неприхот-

ливого кустарника, произрастающего в Сибири. Сбор ягоды с одного кустарника достигает до 12 кг. Ягода хорошо сохраняет свои качества после дефростации, что дает возможность ее широкому спектру использования в питании человека. Сегодня ягода ирга занимает лидирующие позиции лишь в кулинарии и домашних заготовках, в индустрии промышленного производства применения данной ягоды в производстве продуктов на её основе отсутствует [1].

Для расширения ассортимента в мучном производстве перспективным направлением стало создание продуктов повышенной пищевой и пониженной энергетической ценностью, за счет использования концентрированных ягодных порошков.

Ягодный порошок получается в результате конвекционной сушки ягод при температуре 40-50 °C, после их предварительной инспекции, заморозки и дефростации. После сушки ягоды измельчаются и просеиваются через сито с диаметром ячеек не более 1,5-2 мм. Далее порошок смешивается с рецептурным количеством сахара. Натуральные порошки имеют большое значение для производства мучных кондитерских изделий, так как они обладают высокими технологическими свойствами [2, 3].

Пищевая ценность изделий с использованием ягодных порошков заметно повышается по содержанию витаминов, минеральных веществ, органических кислот и пищевых волокон, что играет значительную роль в повышении функциональности и усвояемости готовых продуктов [4, 5].

Пищевая ценность изделий с использованием ягодных порошков заметно повышается по содержанию витаминов, минеральных веществ, органических кислот и пищевых волокон, что играет значительную роль в повышении функциональности и усвояемости готовых продуктов [4, 5].

МЕТОДЫ

Разработка рецептуры кексов осуществлялась с учётом концепции рационального питания Покровского А. А. [6] и справочных данных химического состава российских пищевых продуктов автора Скурихиной И. М. [7, 10]. Оценка качества образцов по органолептическим и физико-химическим показателям производилась на соответствие требованиям ГОСТ Р 15052-2014 [8]. В работе был произведен сравнительный анализ пищевой ценности полученных продуктов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка рецептуры кекса с пониженным содержанием сахара представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептура кекса на 100г готового продукта

Table 1 – Cake recipe per 100g of finished product

Сырье	Со- держа- ние в С.В., %	Расход сырья, г							
		Контроль (0%)		Образец №1 (25%)		Образец №2 (50%)		Образец №3 (75%)	
		в нату- ре	в С.В.	в нату- ре	в С.В.	в нату- ре	в С.В.	в нату- ре	в С.В.
Мука пш. в/с	85,50	31,19	26,67	31,19	26,67	31,19	26,67	31,19	26,67
Сахар	99,85	23,40	23,36	17,55	17,52	11,72	11,70	7,02	7,01
Порошок ирги	96,00	-	-	6,08	5,84	12,15	11,66	17,03	16,35
Масло сливоч- ное	84,00	23,39	19,65	23,39	19,65	23,39	19,65	23,39	19,65
Меланж	27,00	18,71	5,05	18,71	5,05	18,71	5,05	18,71	5,05
Соль по- варенная	96,50	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Углеам- монийная соль	-	0,09	-	0,09	-	0,09	-	0,09	-
Изюм	80,00	23,39	18,71	-	-	-	-	-	-
Изюм ирги	80,00	-	-	23,39	18,71	23,39	18,71	23,39	18,71
Пудра сахарная	99,85	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
Аромати- затор	-	0,09	-	0,09	-	0,09	-	0,09	-
Итого	-	121,46	94,62	121,69	94,62	121,93	94,62	122,11	94,62
Выход	88,00	100,00	88,00	100,00	88,00	100,00	88,00	100,00	88,00

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ КЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯГОД ИРГИ

Размягчённое сливочное масло взбивают в течение 7-10 минут, вносится сахар, предварительно смешанный с порошком ирги, далее постепенно вносится меланж и продолжается взбивание до получения однородной пышной массы. К взбитой массе добавляют изюм ир-

гу, ароматизатор аммоний и соль. Смесь тщательно перемешивают, засыпают муку и замешивают тесто. Общая продолжительность замеса составляет 23...28 минут, влажность готового теста в пределах 23-25 % (рисунок 1).

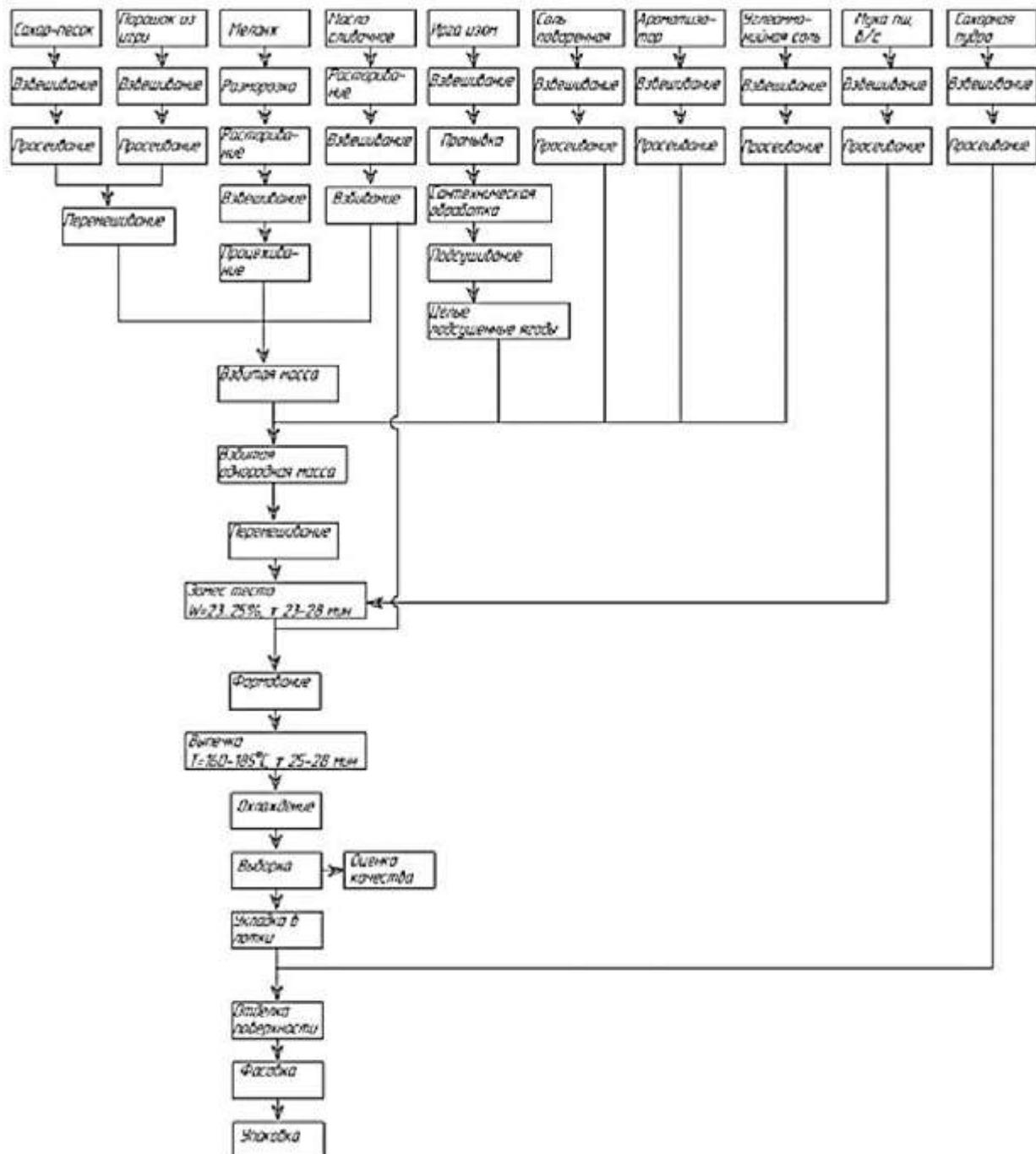


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема технологической линии выпуска кекса с полуфабрикатами из ягод ирги

Figure 1 – Structural and functional diagram of the technological line for the production of cupcake with semi-finished products from irgi berries

Далее тесто выкладывают в формы, смазанные маслом. Наполненность форм составляет 2/3. Выпечка тестовых полуфабрикатов осуществляется при температуре в пекарной камере 160–185 °С. Продолжительность выпечки составляет 25 минут.

Затем кексы охлаждают в течение 4-5 часов при температуре 20°C и влажности в

помещении не более 75 %. Далее производят выборку из форм. Заключительным этапом производства является отделка поверхности кекса сахарной пудрой, фасовка и упаковка. Готовые изделия, после охлаждения подвергались анализу по органолептическим и физико-химическим показателям (таблица 2) [9].

Таблица 2 – Показатели качества кексов с порошком ирги и сушеными ягодами ирги

Table 2 – Quality indicators of cupcakes with irga powder and dried irgi berries

Наименование показателя	Характеристика и значение показателя				
	контроль	образец №1	образец №2	образец №3	образец №4
Форма	Соответствующая данному наименованию изделию, без изменения поверхности и формы	Соответствующая данному наименованию изделию, без изменения поверхности и формы	Соответствующая данному наименованию изделию, без изменения поверхности и формы	Соответствующая данному наименованию изделию, с изменениями поверхности и формы	Соответствующая данному наименованию изделию, со значительными изменениями поверхности и формы
Цвет	Светло-золотистый	Светло-коричневый	Светло-коричневый с сероватым оттенком	Коричневый с сероватым оттенком	Темно-коричневый с сероватым оттенком
Вкус и запах	Свойственный данному наименованию	Свойственный данному наименованию, с легким ягодным привкусом и ароматом	Свойственный данному наименованию, ягодным привкусом и ароматом	Свойственный данному наименованию, с ягодным привкусом и ароматом	Свойственный данному наименованию, с ягодным привкусом и ароматом
Влажность, %	12,0	10,6	10,0	8,6	7,4
Щелочность, град	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9

Для анализа органолептических показателей испытуемых и контрольного образца создана дегустационная комиссия

для проведения оценки по пятибалльной шкале, результаты которой представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Дегустационная оценка кексов

Table 3 – Tasting evaluation of cupcakes

Образцы	Наименование показателя			
	Форма, балл	Цвет, балл	Вкус и запах, балл	Средний балл
Контроль	5,0	5,0	4,9	4,96
Образец №1	4,0	4,0	4,0	4,0
Образец №2	4,7	5,0	5,0	4,9
Образец №3	3,5	4,0	3,8	3,76
Образец №4	4,0	4,0	3,0	3,50

По результатам дегустационной оценки наибольший балл получил образец №2, так как имел правильную форму, приятный вкус и аромат, насыщенный оттенок шоколадной гаммы цветов.

На основе полученных экспериментальных данных выявлена закономерность изменения качества готового кекса в зависимости от содержания полуфабрикатов из ягод ирги.

Щёлочность кекса (y , град.) в зави-

симости от процентного содержания полуфабриката ягод ирги (x_1 , %) и влажности кекса (x_2 , %), на уровне детерминации 96 % и с относительной погрешностью 2%, представляется следующей функцией регрессии (рисунок 2):

$$y = f(x_1, x_2) = 3.0493 + 0.0021 \cdot x_1 - \frac{22.5444}{x_2} + \frac{92.2278}{x_2^2}$$

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ КЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯГОД ИРГИ

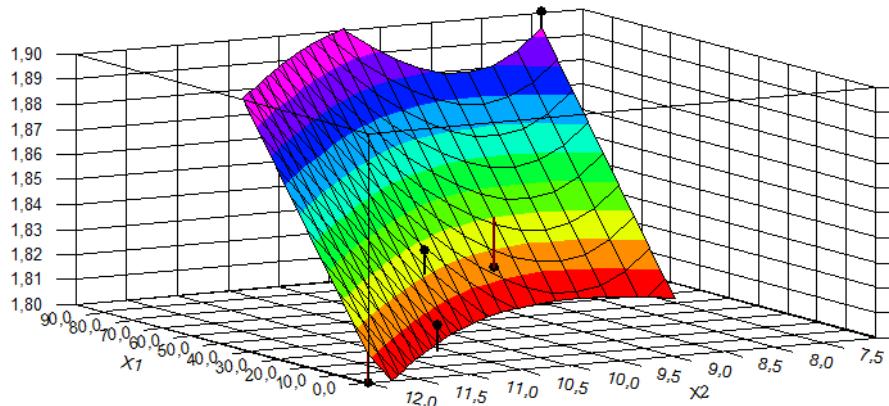


Рисунок 2 – Изменение щёлочности (град) при изменениях содержания полуфабриката ирги (x_1 , %) и влажности кекса (x_2 , %)

Figure 2 – Change in alkalinity (deg) with changes in the content of semi-finished irgi (x_1 , %) and the humidity of the cake (x_2 , %)

Полученная зависимость имеет высокий уровень детерминации (Coefficient of Multiple Determination) 96 % > 95 % и небольшую относительную погрешность 2 % < 5 %. Значимость коэффициентов регрессии и адекватность уравнения регрессии установлена по критериям Стьюдента и Пирсона с использованием компьютерного пакета регрессионного анализа DataFit. Дополнительно использован пакет Statistics системы компьютерной математики Maple для решения вопроса об

использовании модели в прогностических целях и для проведения вычислительного эксперимента с моделью на компьютере. Для определения пищевой ценности изделий разработанного кекса был рассчитан химический состав [10] и сравнительный анализ их пищевой ценности.

Выявлено, что энергетическая ценность кексов разработанного на основе ягод ирги по сравнению с контролем снижается соответственно на 3 %.

Таблица 4 – Сравнительный анализ пищевой ценности в 100 г кексов

Table 4 – Comparative analysis of nutritional value in 100 g of cupcakes

Макронутриенты	Контрольный образец	Образец №2 (50% сахара, 100% изюм ирги)	Изменения, %
Белки, г	23,0	23,0	Без изменений
Углеводы, г	45,0	41,0	-8,7%
Жиры, г	22,0	22,0	Без изменений
Органические кислоты, г	0,0	2,0	+100%
Пектиновые вещества, г	0,0	2,0	+100%
Энергетическая ценность, ккал/кДж	399/1670	387/1620	-3%

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кекс с пониженным содержанием сахара разнообразит ассортимент мучных изделий, отличающихся рецептурой, различной формой, отделкой, вкусом, сырьевым составом и соотношением компонентов. Ягодный порошок из ирги и сушеные ягоды ирги, придаёт гармонию вкуса и оказывает значительное влияние на дегустационную оценку кекса, что заставит потребителя обратить внимание не только на внешний вид продукта и его новизну, но и на

содержание в нем полезных веществ.

Разработанную рецептуру и технологию кексов, на химических разрыхлителях, с заменой сахара на порошок из ягод ирги в количестве 50 % и 100 % заменой сушеного винограда на изюм иргу можно рекомендовать для расширения ассортимента мучных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности в питании населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колыман О.Я. Использование выжимок ирги в производстве обогащенных мучных кондитерских изделий / О.Я. Колыман, И.Н. Пушмина, Г.В. Иванова // Торговля, сервис, индустрия питания. 2021. Т. 1. № 3. С. 248-257.
2. Лисовец Т.А., Мельникова Е.В. Получение порошка из ягод ирги для использования в кондитерских целях / Т.А. Лисовец, Е.В. Мельникова // Проблемы современной аграрной науки. 2015.41с.
3. Мельникова Е.В. Модификация качественных характеристик бисквитно-фруктовых тортов с использованием ягод ирги / Е.В. Мельникова // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию создания ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Красноярск, 2022. С. 300-302.
4. Мельникова Е.В. Использование порошка из ягод ирги в производстве хлеба / Е.В. Мельникова, Т.А. Лисовец // От биопродуктов к биоэкономике : материалы IV межрегиональной научно-практической конференции (с международным участием), Барнаул, 23–24 сентября 2021 года. Барнаул: Алтайский государственный университет, 2021. С. 218-221.
5. Разработка рецептуры безалкогольного напитка на основе ягод ирги и мелкоглодных яблок / Е.В. Мельникова, А.А. Беляков, Т.А. Лисовец, А.А. Соколова // Вестник КрасГАУ. 2022. № 8 (185). С. 187-193.
6. Покровский А.А. О биологической и пищевой ценности продуктов питания // Вопросы питания, 1975. № 3. 25-28 с.
7. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ, 2021г. URL:<https://www.rosпотребнадзор.ru>.
8. ГОСТ 15052-2014. Кексы. Общие технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114735> (дата обращения 25.03.2022 г.).
9. Лурье И.С. Технохимический контроль сырья в кондитерском производстве / И.С. Лурье, А.И. Шаров. М.: Колос, 2001. 248с.
10. Скурихин И.М., Химический состав российских продуктов питания / И.М. Скурихин, В.А. Тутельян. М.: ДеЛи-Принт, 2001.

Информация об авторах

Е. В. Мельникова – к.т.н., доцент кафедры ТХК и МП ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

А. А. Беляков – к.т.н., доцент кафедры Правовых и социально-экономических дисциплин, Ачинский филиал ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Н. А. Величко – д.т.н., профессор кафедры ТК и ПБ Института пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 10.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 10 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.

REFERENCES

1. Kolman, O.YA., Pushmina, I.N. & Ivanova G.V. (2021). Ispolzovanie vyjimok irgi v proizvodstve obo-gaschennyih muchnyih konditerskih izdeliy. Torgovlya, servis, industriya pitaniya. 1(3). 248-257. (In Russ.).
2. Lisovets, T.A. & Melnikova, E.V. (2015). Poluchenie poroshka iz yagod irgi dlya ispolzo-vaniya v konditerskih tselyah. Problemy so-vremennoy agrarnoy nauki. (In Russ.).
3. Melnikova, E.V. (2022). Modifikatsiya kachestvennyih harakteristik biskvitno – frukto-vyih tortov s ispolzovaniem yagod irgi. Materialy mejduna-rodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyaschennoy 70-letiyu sozdanija FGBOU VO Krasnoyarskiy GAU. Krasnoyarsk, P. 300-302. (In Russ.).
4. Melnikova, E.V. & Lisovets, T. A. (2021). Ispolzovanie poroshka iz yagod irgi v proizvodstve hleba. Ot bioproductov k bioekonomike : materialy IV mejdionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mejdunardonim uchasti-em), Barnaul, 23–24 sentyabrya 2021 goda. Barnaul: Altayskiy gosudarstvennyiy universitet, S. 218-221. (In Russ.).
5. Melnikova, E.V., Belyakov, A.A., Lisovets, T.A. & Sokolova, A.A. (2022). Razrabotka retseptury bezalkogolnogo napitka na osnove yagod irgi i melkoplodnyih yablok. Vestnik KrasGAU. 8 (185). 187-193. (In Russ.).
6. Pokrovskiy A.A. (1975). O biologicheskoy i pi-schevoy tsennosti produktov pitaniya. Voprosy pitaniya, (3). 25-28 . (In Russ.).
7. Normyi fiziologicheskikh potrebnostey v energii i pischevyih veschestvah dlya raz-lichnyih grupp naseleniya Rossiyskoy Fe-deratsii (2021). Retrieved from <https://www.rosпотребнадзор.ru>. (In Russ.).
8. Keksyi. Obschie tehnicheskie usloviya (2014). GOST 15052-2014. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/1200114735>. (In Russ.).
9. Lure, I.S. & SHarov, A.I. (2001). Tehnohimicheskiy kontrol syriya v konditerskom proizvodstve. M.: Kolos. (In Russ.).
10. Skurikhin, I.M .& Tutelyan, V.A. (2001). Himicheskiy sostav rossijskih produktov pitaniya.. M.: DeLi-Print. (In Russ.).

Information about the authors

E.V. Melnikova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of THC and MP of the Krasnoyarsk State Agrarian University.

A.A. Belyakov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Legal and Socio-Economic Sciences, Achinsk Branch of the Krasno-Yarsky State Agrarian University.

N.A. Velichko – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department-ry TC and PB of the Institute of Food Production of the Krasnoyarsk State Agrarian University.



РАЗДЕЛ 1. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 621.793.6

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.021

EDN: IEWEWV

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЯХ

Иван Петрович Полянский ¹, Роман Олегович Вихрев ²,
Игорь Геннадьевич Сизов ³

^{1, 2, 3} Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ,
Россия

¹ i.polyansky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7350-8791>

² vichrevr900@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5130-4336>

³ sigperlit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4468-784X>

Аннотация. Борирование применяют с целью повышения эксплуатационной долговечности для различного рода инструмента и технологической оснастки. Преимущество у боридных покрытий довольно много. К ним можно отнести высокую твердость, износостойкость, жаростойкость, коррозионную стойкость и т.д. Высокая твердость и износостойкость являются преобладающими из этих свойств.

В большинстве случаев разрушение деталей и инструмента начинается с поверхностных слоев, имеющих глубину от тысячных до сотых долей миллиметра. Поэтому стойкость к износу деталей, подвергнутых борированию, определяется не столько глубиной боридного покрытия, сколько его качеством и структурой.

В данной статье рассмотрено исследование формирования структуры и свойств на инструментальных сталях У12, 5ХНМ, 7Х3. В работе проведен металлографический анализ боридных покрытий на сталях. Определена микротвердость по глубине диффузионного покрытия в зависимости от марки стали. Проведены испытания на жаростойкость и сравнительный анализ износостойкости сталей, подвергнутых термической обработке и борированию. Дана оценка возможности применения борирования для данных сталей.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, борирование, металлографический анализ, микротвердость, жаростойкость, износостойкость.

Благодарности: результаты исследований выполнены при финансовой поддержке ФГБОУ ВО ВСГУТУ в рамках гранта «Молодые ученые ВСГУТУ» (Приказ 4120д от 05.03.2022).

Для цитирования: Полянский И. П., Вихрев Р. О., Сизов И. Г. Структура и свойства боридных покрытий на инструментальных сталях // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 171–177. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.021. EDN: <https://elibrary.ru/IEWEWV>.

Original article

STRUCTURE AND PROPERTIES OF BORIDE COATINGS ON TOOL STEELS

Ivan P. Polyansky ¹, Roman O. Vihrev ², Igor G. Sizov ³

^{1, 2, 3} East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

¹ i.polyansky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7350-8791>

² vichrevr900@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5130-4336>

³ sigperlit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4468-784X>

Abstract. *Boriding is used to increase the operational durability for various kinds of tools and industrial equipment. Boride coatings have quite a few advantages. These include high hardness, wear resistance, heat resistance, corrosion resistance, etc. High hardness and wear resistance are the predominant of these properties.*

In most cases, the destruction of parts and tools begins with surface layers having a depth of thousandths to hundredths of a millimeter. Therefore, the wear resistance of parts subjected to boriding is determined not so much by the depth of the boride coating as by its quality and structure.

This article discusses the study of the formation of structure and properties on tool steels Y12, 5XHM, 7X3. In this work, a metallographic analysis of boride coatings on steels was carried out. The microhardness was determined by the depth of the diffusion coating depending on the steel grade. Tests for heat resistance and a comparative analysis of the wear resistance of steels subjected to heat treatment and boriding were carried out. An assessment of the possibility of using boriding for these steels is given.

Keywords: chemical-thermal treatment, boriding, metallographic analysis, microhardness, heat resistance, wear resistance.

Acknowledgements: the research results were carried out with the financial support of the FSUE in VSGUT within the framework of the grant "Young scientists of VSGUT" (Order 412od of 05.03.2022).

For citation: Polyansky, I.P., Vihrev, R.O. & Sizov, I.G. (2023). Structure and properties of boride coatings on tool steels. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 171-177. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.021. EDN: <https://elibrary.ru/IEWEWV>.

ВВЕДЕНИЕ

Диффузионное борирование является одним из распространенных способов повышения долговечности деталей и инструмента в различных отраслях машиностроения [1, 2]. Борированные детали обладают высокой твердостью, стойкостью к различным видам износа, могут работать в разных агрессивных средах и при повышенных температурах до 800 °C, не теряя при этом своих свойств. Опыт применения борирования показывает, что такой способ повышает стойкость штамповой оснастки от 2,5 до 10 раз, стойкость пресс-форм для изготовления деталей из сыпучих материалов – в 2–5 раз, инструмент для волочения и накатки – в 2–10 раз, детали различной технологической оснастки – до 12 раз, механизмы, работающие в условиях абразивного износа – до 6 раз, детали литейных машин и пресс-форм для литья – до 5–6 раз [3–7]. На основании литературных данных можно сделать однозначный вывод о том, что борирова-

ние в настоящее время является перспективным способом повышения долговечности деталей машин и инструмента и продолжает активно развиваться российскими и зарубежными учеными.

Цель работы: исследование формирования структуры и свойств боридных покрытий на инструментальных сталях Y12, 5XHM, 7X3.

МЕТОДЫ

В качестве исследуемых материалов использовали инструментальные стали, приведенные в таблице 1.

Легированные стали 5XHM и 7X3 являются инструментальными штамповыми сталями и широко используются для горячего и холодного деформирования [8, 9]. Данные стали применяются преимущественно для крупногабаритных изделий, таких как пуансоны, матрицы, крупные молотовые штампы и т.п. В слабонагруженных условиях в качестве штампов, матриц допускается использовать сталь Y12.

Таблица 1 – Химический состав сталей, масс.доля в % (ГОСТ 5950-2000)

Table 1 - The chemical composition of steels mass. share in % (GOST 5950-2000)

Марка стали	Химический состав								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	Cu
5ХНМ	0.50–0.60	0.10–0.40	0.50–0.80	0.50–0.80	0.15–0.80	1.40–1.80	0.030	0.030	0.30
7Х3	0.65–0.75	0.15–0.35	0.50–0.80	3.20–3.80	0.20	0.35	0.030	0.030	0.30
У12	1.1–1.22	0.17–0.3	1.17–0.3	0.2	0.20	0.25	0.030	0.030	0.25

Термическую обработку и борирование сталей осуществляли в камерной печи СНОЛ-12/12.

Термическую обработку сталей проводили согласно справочным данным [8, 9].

Борирование проводили в контейнерах с плавким затвором в смеси, содержащей 95 % В₄C + 5 % NaF при температуре 950 °C и временем выдержки 4 часа.

Металлографический анализ проводили на оптическом микроскопе Альтами МЕТ-2С с цифровой камерой для фиксации изображений. Измерение твердости и микротвердости проводили на твердомерах Роквелла Р 5006 и HV-1000 соответственно.

Жаростойкость оценивали согласно ГОСТ 6130-71, которую определяли путем выдержки образцов в печи при температуре 1000 °C в течение 50 часов, весовым методом по увеличению массы образца.

Изменение массы в процессе испытаний регистрировали периодически, через каждые 5 часов на аналитических весах. Охлаждение образцов перед взвешиванием проводили на спокойном воздухе. Каждая точка определялась как среднее арифметическое результатов испытания трех образцов.

Испытания на износстойкость проводили на машине трения типа Амслер модели МИ-1. Изменение массы образцов регистрировали периодически через каждые 10 минут на аналитических весах.

По результатам испытаний на жаро- и износстойкость строили кривые в программе «Microsoft Office Excel», которые позволили наглядно судить о зависимости набора и потери массы образцов от продолжительности испытаний.

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате диффузионного насыщения бором были получены покрытия, представленные на рисунке 1.

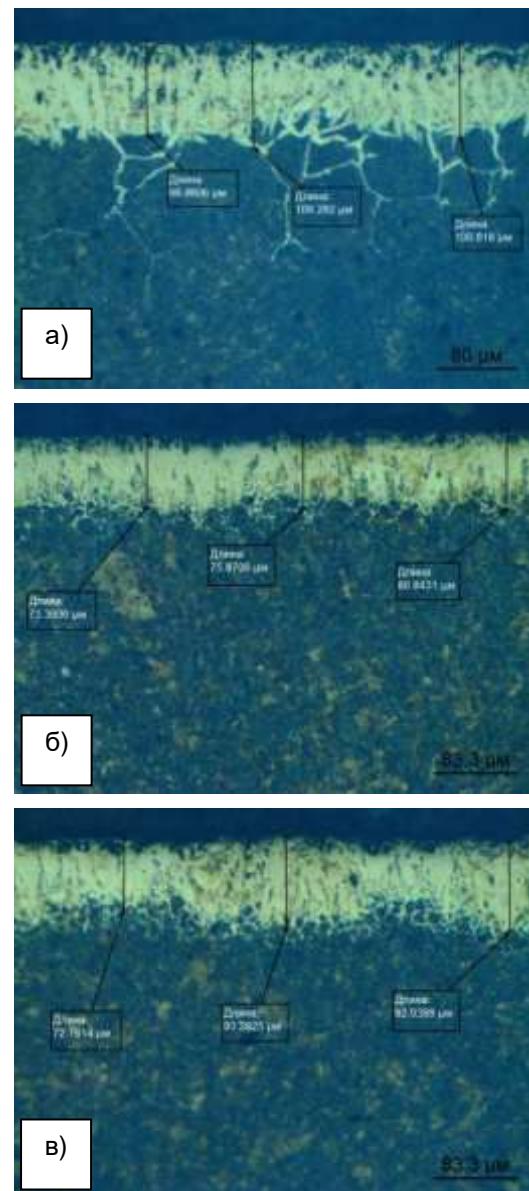


Рисунок 1 – Микроструктуры борированных покрытий на сталях при увеличении ×200:
а) 5ХНМ; б) 7Х3; в) У12

Figure 1 - Microstructures of borated coatings on steels at magnification ×200:
a) 5K, b) 7X3, c) U12

Основная часть покрытий на всех сталях состоит из игл, направленных вглубь основы, что характерно для борированных покрытий классического типа [10].

На стали У12 от основных игл происходит продолжение покрытия в виде разветвленных мелких игл с их дальнейшим переходом в структуру основного металла по границам цементитной сетки. Такое строение боридного покрытия характерно для высококуглеродистых сталей.

На сталях 5ХНМ и 7Х3 структуры боридных покрытий имеют другой вид. При переходе от основных игл в зону основного металла эта фаза формируется в виде сетки.

Глубина диффузионных покрытий составляет: на стали 5ХНМ – 75 мкм, на 7Х3 – 80 мкм и У12 – 100 мкм.

Уменьшение толщины покрытия связано с количеством легирующих элементов в стали. То есть, чем больше в стали содержится легирующих элементов (хром, молибден, никель, азот, марганец и т.д.), тем затруднительнее проходит диффузионное насыщение [11].

Микротвердость по толщине покрытий на сталях У12, 5ХНМ и 7Х3 распределяется неравномерно. Зависимость распределения микротвердости по глубине упрочняющих покрытий показано на рисунке 2.

Микротвердость покрытий уменьшается по мере удаления от поверхности. На расстоянии 30 мкм составляет: У12 – 18000–18500 МПа, 5ХНМ – 17500–18000 МПа, 7Х3 – 17500–18000 МПа; на расстоянии от поверхности 60 мкм: У12 – 16500–17000 МПа, 5ХНМ – 16000–16500 МПа, 7Х3 – 15500–16000 МПа; на расстоянии от поверхности 90 мкм: У12 – 11500–12000 МПа, 5ХНМ – 12500–13000 МПа, 7Х3 – 12000–12500 МПа. Микротвердость переходной зоны основного металла составляет 4000–5000 МПа на всех сталях.

Результаты испытаний на жаростойкость сталей приведены на рисунках 3, а–в. Как видно из графиков, на сталях без обработки, ввиду высокой температуры ($T = 1000$ °С), происходит их быстрое разрушение на первых часах испытаний (рисунок 3, а–в).

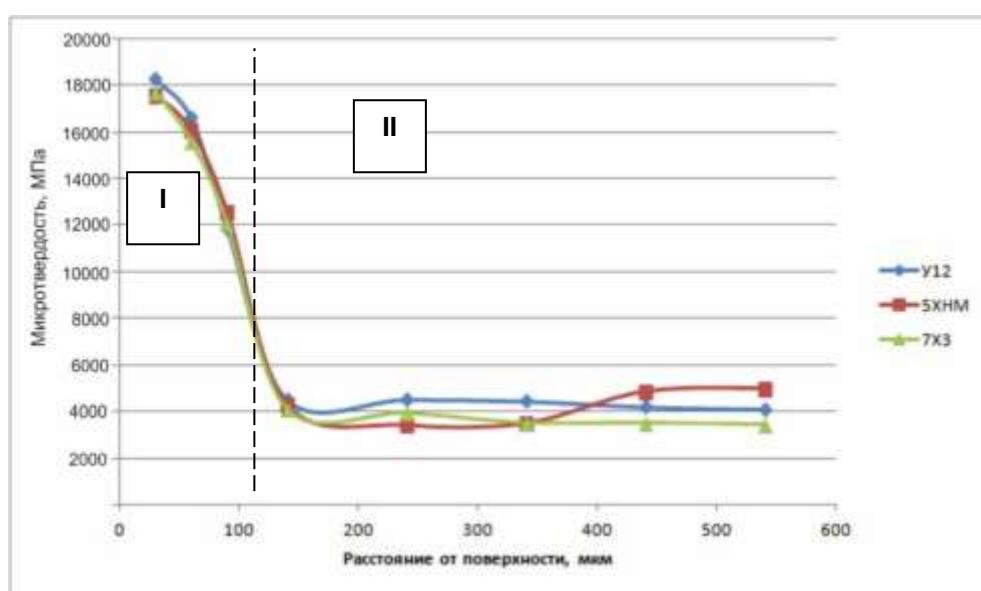


Рисунок 2 – График распределения микротвердости по глубине борированных покрытий:
I – зона распределения микротвердости упрочняющего покрытия, II – зона распределения микротвердости переходной зоны и основного металла

Figure 2 is a graph of the microhardness distribution over the depth of borated coatings:
I is the microhardness distribution zone of the reinforcing coating, II is the microhardness distribution zone of the transition zone and the base metal

Разрушение связано с обезуглероживанием поверхности, в результате чего на поверхности образуется обедненная углеродом зона в виде окалины, содержащей оксиды железа. Дальнейшее использование таких образцов будет невозможным, т.к. окалина расслаивается и нарушается форма образцов.

После борирования образцы показывают положительный эффект (рисунок 3, а–в). Для стали У12 заметное разрушение происходит после 15 часов (рисунок 3, а), а для сталей 5ХНМ и 7Х3 на промежутке от 15 до 20 часов (рисунок 3, б–в). Далее происходит значительный набор массы. Увеличение показате-

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЯХ

лей жаростойкости для сталей 5ХНМ и 7Х3 связано с их легированностью хромом и дру-

гими элементами, которые повышают механические свойства сталей.

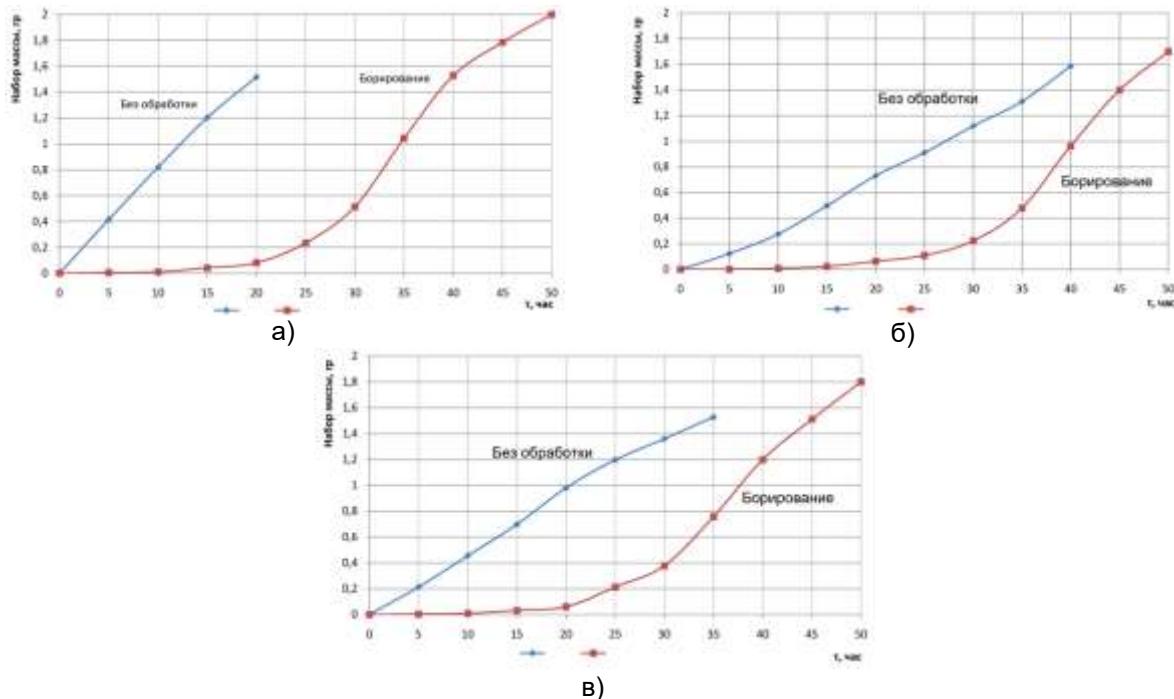


Рисунок 3 – Результаты испытаний на жаростойкость а) У12; б) 5ХНМ; в) 7Х3

Figure 3 - Results of heat resistance tests a) U12, b) 5XNM, c) 7X3

Испытания на износостойкость проводили на образцах, обработанных двумя способами.

В первом случае образцы из сталей У12, 5ХНМ, 7Х3 подвергали термической обработке (закалке с последующим отпуском). Также

для назначения температуры закалки руководствовались справочными данными [8, 9] (таблица 2). Режимы, при которых была проведена термическая обработка, приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Критические точки сталей [8–9]

Table 2 - Critical points of steels [8-9]

Марка стали	Критические точки, °C				
	Ac ₁	Ac ₃ (A _{cm})	Ar ₃ (Ar _{cm})	Ar ₁	Mn
У12	730	820	–	700	200
5ХНМ	730	780	640	610	230
7Х3	770	730	–	–	400

Таблица 3 – Режимы термической обработки

Table 3 - Heat treatment modes

Марка стали	Температура закалки, °C	Температура среднего отпуска, °C
У12	780 (охлаждение в воде)	
5ХНМ	850 (охлаждение в масле)	350
7Х3	870 (охлаждение в масле)	

Так как штамповый инструмент должен обладать высокой износостойкостью и при этом иметь высокую вязкость, температуру отпуска выбирали исходя из требований к механическим свойствам. Для всех образцов отпуск проводили при температуре 350 °C. Средний отпуск (300–400 °C) обеспечивает в изделиях относительно высокую твердость (HRC40–54) и

максимальный предел упругости при достаточном пределе прочности.

Термическая обработка проводилась по стандартным известным методикам в муфельной печи камерного типа (СНОЛ 12/12).

Твердость сталей после термической обработки приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Твердость сталей после термической обработки

Table 4 - Hardness of steels after heat treatment

Марка стали	Твердость стали после закалки, HRC	Твердость стали после отпуска, HRC
У12	65–67	56–58
5ХНМ	55–57	49–51
7Х3	58–60	51–53

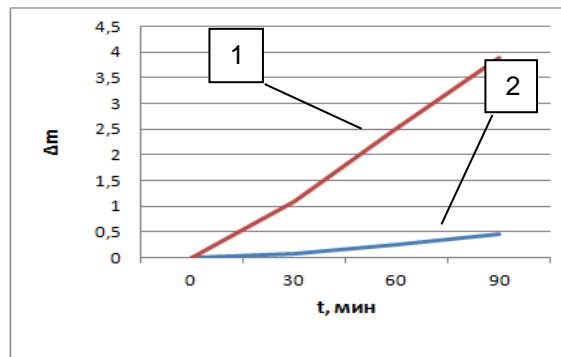
Таким образом, на данных сталях были получены оптимальные значения твердости, отвечающие требованиям к штамповому инструменту.

Во втором случае перечисленные образцы сталей подвергали борированию по методике, описанной в методах и материалах исследования.

Результаты испытаний на износстойкость сталей, упрочненных борированием, приведены на рисунке 6, а–в.

Износстойкость сталей определяли по принципу изменения массы, по формуле:

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \%$$



а)

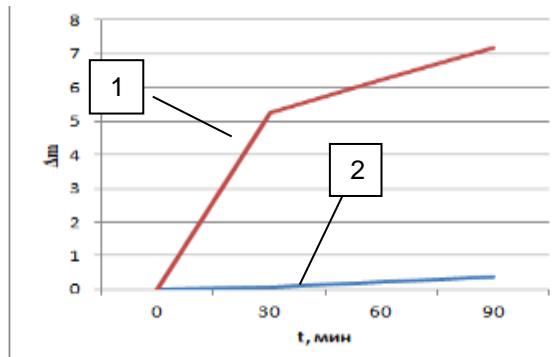
где: Δm – относительное изменение массы образца;

m_1 – начальная масса образца;

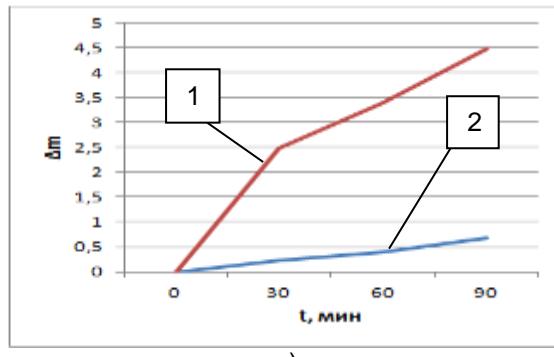
m_2 – масса образца после испытаний.

Испытания проводили до полного разрушения упрочняющего покрытия.

Из рисунков 4, а–в видно, что значительное изменение массы образцов после термической обработки происходит с первых минут испытаний. После борирования образцов видимые изменения происходят для стали У12 после 15 минут испытаний, для стали 5ХНМ после 30 минут и стали 7Х3 после 15 минут.



б)



в)

Рисунок 4 – Графики изменения массы сталей после термической обработки и борирования:
а) У12; б) 5ХНМ; в) 7Х3; 1 – после термической обработки; 2 – после борирования

Figure 4 - Graphs of changes in the mass of steels after heat treatment and boration:
a) U12, b) 5XNM, c) 7X3, 1 - after heat treatment, 2 - after boration

ВЫВОДЫ

Проведение металлографического анализа и определение микротвердости позволили сделать вывод, что значения микротвердости покрытия на стали 5ХНМ уступают

значениям микротвердости покрытия на стали У12 и уступает по толщине покрытиям на сталях У12 и 7Х3. Однако несмотря на это, упрочняющее покрытие на стали 5ХНМ имеет более высокие показатели по износстойко-

сти. Вероятнее всего это связано с формированием более пластичного слоя из-за входящих в состав стали легирующих элементов.

В зависимости от марки стали формируются диффузионные покрытия различной глубины и структуры. Глубина покрытий на сталях составляет: 5ХНМ – 75 мкм, 7Х3 – 80 мкм, У12 – 100 мкм.

Борирование позволяет существенно увеличить окислительную стойкость сталей при высоких температурах. Для стали У12 до 15 часов, для сталей 5ХНМ и 7Х3 до 20 часов. Рекомендуемый ресурс работы сталей при 1000 °С: У12 – 8–10 часов, 5ХНМ – 10–12 часов, 7Х3 – 10 часов.

Испытания на износостойкость показали, что образцы после борирования имеют повышенную стойкость к износу в условиях сухого трения–скольжения по сравнению образцами после термической обработки, которая применяется для упрочнения деталей на заводах.

На основе полученных данных можно рекомендовать борирование для повышения стойкости деталей, работающих в условиях повышенного износа, например, для упрочнения штамповочного инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошнин Л.Г. Борирование стали. М. : Металлургия, 1978. 230 с.
2. Ворошнин Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов: справ. пособие. Минск : Беларусь, 1981. 205 с.
3. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник / Г.В. Борисенок [и др.]. Москва : Изд-во: Металлургия, 1981, 424 с.
4. Упрочнение поверхностных слоев штамповочных сталей борированием / Т.В. Емельянова [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. 2017. Т. 13. № 1 (145). С. 40–44.
5. Трахтенберг Б.Ф. Стойкость штампов и пути ее повышения. Куйбышев : Куйбышевское книжное издательство, 1964. 280 с.
6. Зубцов М.Е., Корсаков В.Д. Стойкость штампов. Л. : Машиностроение, 1971. 200 с.
7. Сорокин В.Г., Гервасьев М.А. Стали и сплавы. Марочник. М. : Иртимет Инжиниринг, 2001. 608 с.
8. Зубченко А.С. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 2003, 784 с.
9. Kruckovich M.G., Prusakov B.A., Sizov I.G. Plasticity of Boronized Layers. Springer. 2016. P. 364
10. Ворошнин Л.Г., Менделеева О.Л., Сметкин В.А. Теория и технология химико-термической обработки. М. : Новое знание, 2010. 304 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 09.12.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 09 Dec 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.

Информация об авторах

И. П. Полянский – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металловедение и технологии обработки материалов» Восточно-Сибирского государственного технологического университета.

Р. О. Вихрев – магистрант направления 22.04.02 Металлургия Восточно-Сибирского государственного технологического университета.

И. Г. Сизов – доктор технических наук, профессор, ректор Восточно-Сибирского государственного технологического университета.

REFERENCES

1. Voroshnin, L.G. (1978). Boration of steel. M. : Metallurgy. (In Russ.).
2. Voroshnin, L.G. (1981). Boration of industrial steels and cast iron: reference.stipend. Minsk: Belarus.
3. Borisenok, G.V., Vasiliev, L.A. Voroshnin L.G. [et al.] (1981). Chemical and thermal treatment of metals and alloys. Reference book. Moscow : Publisher: Metallurgy, (1), 424 p. (In Russ.).
4. Emelyanova, T.V., Gryzunov, V.I., Primak, E.Yu. & Firsova, N.V. (2017). Hardening of the surface layers of sheet steels by boration. Hardening technologies and coatings. 13. No. 1 (145). 40-44. (In Russ.).
5. Trachtenberg, B.F. (1964). Durability of stamps and ways to increase it. Kuibyshev: Kuibyshev Book Publishing House. (In Russ.).
6. Zubtsov, M.E. & Korsakov, V.D. (1971). Durability of stamps. L. : Mechanical Engineering. (In Russ.).
7. Sorokin, V.G. & Gervasyev, M.A. (2001). Steels and alloys. Marochnik. M. : Intermet Engineering. (In Russ.).
8. Zubchenko, A.S. (2003). Vintage of steels and alloys. 2nd ed., reprint. and additional. M. : Mechanical Engineering. (In Russ.).
9. Kruckovich, M.G., Prusakov, B.A. & Sizov, I.G. (2016). Plasticity of Boronized Layers. Springer. (In Russ.).
10. Voroshnin, L.G., Mendeleva, O.L. & Smetkin, V.A. (2010). Theory and technology of chemical-thermal treatment. M. : Novoeznanie. (In Russ.).

Information about the authors

I.P. Polyansky - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Metallurgy and Materials Processing Technologies" of the East Siberian State Technological University.

R.O. Vikhrev - Master's student of the direction 22.04.02 Metallurgy of the East Siberian State University university of Technology.

I.G. Sizov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of the East Siberian State Technological University.



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678.5

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.022

EDN: HZBNHY

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

Иван Петрович Троев¹, Александр Михайлович Спиридонос²,
Людмила Германовна Маринова³, Андрей Петрович Васильев⁴,
Сахаяна Николаевна Данилова⁵, Мария Петровна Кириллина⁶,
Долгуйана Николаевна Сидорова⁷, Алексей Геннадьевич Туисов⁸,
Прасковья Николаевна Тарасова⁹, Александр Александрович Ушканов¹⁰,
Наталья Павловна Гладкина¹¹, Денис Витальевич Сивцов¹²

1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12 Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск, Россия

¹ ysumed@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9782-8565>

² am.spiridonov@s-vfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6520-5785>

³ marinovalg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8284-0051>

⁴ gtvap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-533X>

⁵ dsn.sakhayana@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5901-6387>

⁷ dolguyaana.sidorova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7470-5634>

⁹ pn.tarasova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8382-9735>

¹⁰ alexanderushkanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5638-8399>

¹¹ lan41453@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3969-4727>

¹² alen1882@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0115-4699>

⁶ «Якутский научный центр комплексных медицинских проблем СО РАН», Якутск, Россия

⁶ kirillinamp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8629-1296>

⁸ Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», Якутск, Россия

⁸ tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6819-1937>

Аннотация. В работе приводятся результаты исследования физико-механических, структурных характеристик и биосовместимости полимерных материалов медицинского назначения – сверхвысокомолекулярного полиэтилена и поливинилиденфторида. Изучаемые образцы полимеров были изготовлены методом горячего прессования с последующим их охлаждением под давлением в прессе. Определение прочности при растяжении, относительного удлинения, предела текучести и модуля упругости при растяжении проводилось на универсальной испытательной машине. Морфология поверхности полимерных образцов до и после вживления в лабораторных крыс изучали методом рastровой электронной микроскопии. Отмечаются структурные изменения полимеров после вживления в организм, выраженные слаживанием поверхности поливинилиденфторида и увеличением канавок на поверхности образца сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Методом ИК-спектроскопии исследовали влияние вживления материалов на изменения функционально-группового состава. Показано, что у образца сверхвысокомолекулярного полиэтилена обнаружены новые полосы поглощения, относящиеся к колебаниям С–О связи карбонильной и эпоксидной групп. Введение имплантата поливинилиденфторида в подкожный покров животного не приводит к изменению химического состава и образованию новых полос поглощения, что свидетельствует о биоинертности материала. Степень иммуногенности и характер воспалительных процессов в тканях организма вокруг исследуемого материала оценивается путем хирургической имплантации в физиологические пространства лабораторных животных. Проведена сравнительная оценка воспалительной реакции на месте вживления в лабораторных крыс по-

© Троев И. П., Спиридонос А. М., Маринова Л. Г., Васильев А. П., Данилова С. Н., Кириллина М. П., Сидорова Д. Н., Туисов А. Г., Тарасова П. Н., Ушканов А. А., Гладкина Н. П., Сивцов Д. В., 2023

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

лимерных имплантов, изготовленных из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и поливинилденифторида. Воспалительная реакция оценивалась по гистологическим образцам кожного покрова вокруг имплантов.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, поливинилиденфторид, воспаление, имплант, биосовместимость.

Благодарности: Работа выполнена в рамках федерального проекта “Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок” национального проекта “Наука и университеты”, шифр тематики FSRG-2022-0009 “Разработка и испытание новых биомедицинских клеточных продуктов, композиционных медицинских изделий”.

Для цитирования: Сравнительная характеристика воспалительной реакции при имплантации синтетических полимерных материалов на экспериментальных животных / И. П. Троев [и др.]. // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 178–184. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.022. EDN: <https://elibrary.ru/HZBNHY>.

Original article

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE INFLAMMATORY REACTION DURING IMPLANTATION OF SYNTHETIC POLYMERIC MATERIALS IN EXPERIMENTAL ANIMALS

Ivan P. Troev¹, Alexander M. Spiridonov², Lyudmila G. Marinova³,
Andrey P. Vasiliev⁴, Sakhayana N. Danilova⁵, Maria P. Kirillina⁶,
Dolguyaana N. Sidorova⁷, Aleksei G. Tuisov⁸, Praskovia N. Tarasova⁹,
Alexander A. Ushkanov¹⁰, Natalya P. Gladkina¹¹, Denis V. Sivtsev¹²

^{1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12} North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

¹ ysumed@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9782-8565>

² am.spiridonov@s-vfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6520-5785>

³ marinovalg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8284-0051>

⁴ gtvap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-533X>

⁵ dsn.sakhayana@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5901-6387>

⁷ dolguyaana.sidorova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7470-5634>

⁹ pn.tarasova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8382-9735>

¹⁰ alexanderushkanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5638-8399>

¹¹ lan41453@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3969-4727>

¹² alen1882@gmail.com/(924)36995470000-0002-0115-4699

⁶ Yakutsk Scientific Center for Complex Medical Problems of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

⁶ kirillinamp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8629-1296>

⁸ The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

⁸ tuisovag@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6819-1937>

Abstract. The paper presents the results of a study of the physico-mechanical, structural characteristics and biocompatibility of polymeric materials for medical purposes - ultra-high molecular weight polyethylene and polyvinylidene fluoride. The polymer samples under study were produced by hot pressing followed by cooling under pressure in a press. Determination of tensile strength, relative elongation, yield strength and tensile modulus was carried out on a universal testing machine. The surface morphology of polymer samples before and after implantation into laboratory rats was studied by scanning electron microscopy. Structural changes in polymers after implantation into the body are noted, expressed in smoothing the surface of polyvinylidene fluoride and an increase in grooves on the surface of a sample of ultrahigh molecular weight polyethylene. The effect of implantation of materials on changes in the functional group composition was studied by infrared (IR) spectroscopy. It is shown that a sample of ultra-high molecular weight polyethylene has new absorption bands related to vibrations of the C-O bond of the carbonyl and epoxy groups. The introduction of a polyvinylidene flu-

И. П. ТРОЕВ, А. М. СПИРИДОНОВ, Л. Г. МАРИНОВА, А. П. ВАСИЛЬЕВ, С. Н. ДАНИЛОВА,
М. П. КИРИЛЛИНА, Д. Н. СИДОРОВА, А. Г. ТУИСОВ, П. Н. ТАРАСОВА, А. А. УШКАНОВ,
Н. П. ГЛАДКИНА, Д. В. СИВЦЕВ

ride implant into the subcutaneous tissue of an animal does not lead to a change in the chemical composition and the formation of new absorption bands, which indicates the bioinertness of the material. The degree of immunogenicity and the nature of inflammatory processes in the tissues of the body around the test material is assessed by surgical implantation into the physiological spaces of laboratory animals. A comparative evaluation of the inflammatory reaction at the site of implantation of polymer implants made of ultra-high molecular weight polyethylene and polyvinylidene fluoride into laboratory rats was carried out. The inflammatory response was assessed by histological samples of the skin around the implants.

Keywords: ultra-high molecular weight polyethylene, polyvinylidene fluoride, inflammation, implant, biocompatibility.

Acknowledgements: The work is carried out within the framework of the federal project "Development of human capital in the interests of regions, industries and the research and development sector" of the national project "Science and Universities", the code of the subject FSRG-2022-0009 "Development and testing of new biomedical cellular products, composite medical devices".

For citation: Troev, I.P., Spiridonov, A.M., Marinova, L.G., Vasiliev, A.P., Danilova, S.N., Kirillina, M.P., Sidorova, D.N., Tuisov, A.G., Tarasova, P.N., Ushkanov, A.A., Gladkina, N.P. & Sivtsev, D.V. (2023). Comparative characteristics of the inflammatory reaction during implantation of synthetic polymeric materials in experimental animals. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 178-184. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.022. EDN: <https://elibrary.ru/HZBNHY>.

ВВЕДЕНИЕ

Синтетические полимерные материалы нашли широкое применение в качестве медицинских изделий: протезов, стоматологических и перевязочных материалов, имплантов, экстракорпоральных устройств, герметиков, систем доставки полимерных лекарств, тканевых изделий и ортопедии, и в некоторых случаях применяются взамен металлов и керамики. Главными преимуществами полимерных биоматериалов являются технологичность изготовления изделий различных форм, небольшая себестоимость и низкие трудозатраты, хорошие физико-механические свойства и инертность, обеспечивающие биосовместимость [1].

Одним из полимерных материалов, применяемых в медицине в качестве импланта, является частично галогенированный фторополимер – поливинилиденфторид (ПВДФ), обладающий уникальной совокупностью таких свойств, как высокая химическая и биологическая инертность, стойкость к износу и истиранию, радиационная стойкость. ПВДФ может перерабатываться всеми известными для термопластов способами на обычном оборудовании [2]. Известно [3, 4], что сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) применяется в эндопротезировании суставов благодаря высокой прочности при растяжении и стойкости к истиранию. СВМПЭ так же, как и ПВДФ, обладает высокими биосовместимостью и биоинертностью.

Целью работы является **исследование биосовместимости** поливинилиденфторида и сверхвысокомолекулярного полиэтилена методом *invivo*.

180

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе проводилось исследование на биосовместимость ПВДФ марки DS2011 (Shandong Huaxia Shenzhou New Material Co.Ltd, Китай) и СВМПЭ марки GUR 4022 (Celanese, China). Образцы для исследований изготовлены методом горячего прессования в гидравлическом прессе ПКМВ-100 (Импульс, Россия) при температуре 175 °C под давлением 10 МПа в течение 20 мин с последующим охлаждением до 80 °C под давлением.

Деформационно-прочностные свойства полимеров исследовали на универсальной разрывной машине Autograph AGS-J (Shimadzu, Япония) согласно ГОСТ 11262-2017. Модуль упругости при растяжении определяли согласно ГОСТ 9550-81 и напряжение при сжатии по ГОСТ 4651-2014.

Надмолекулярную структуру поверхности полимерных образцов до и после вживления в лабораторных крыс исследовали при помощи растрового электронного микроскопа JSM-7800F (Jeol, Япония) в режиме вторичных электронов при низком ускоряющем напряжении. Методом ИК-спектроскопии исследовали поверхность образцов до и после вживления в лабораторных крыс. Исследование проводили на ИК-спектрометре с Фурье преобразованием Varian 7000 FT-IR (Varian, США). ИК-спектры получали с помощью приставки нарушенного полного внутреннего отражения в диапазоне 800–4000 см⁻¹.

В эксперименте на животных участвовали крысы линии Wistar в возрасте 4 мес, весом 140 г.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

Образцы материалов размером 0,5–1,0 см в длину имплантировались в подкожное пространство в подлопаточной области животного.

Через 10 дней по окончании эксперимента производилось извлечение имплантата с биопсией всех слоев кожи одним блоком тканей непосредственно над имплантатом.

Гистологические срезы толщиной 3–5 мкм изготавливались на ротационном микротоме Leica SM 2000R. Образцы окрашивались гематоксилином и эозином и направлялись на микроскопию.

Оценка реакции окружающих тканей на имплантацию производилась путем сравнения морфологических признаков воспаления, миграции иммунокомпетентных клеток и васкуляризации в тканях вокруг имплантированного материала с морфологической характеристикой тканей с нетронутых участков симметричных зон в микроскопии [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В таблице 1 приведены результаты исследования деформационно-прочностных свойств ПВДФ и СВМПЭ, полученных горячим прессованием.

Таблица 1 – Физико-механические свойства ПВДФ и СВМПЭ

Table 1 - Physico-mechanical properties of PVDF and UHMWPE

Характеристика	Значение	
	ПВДФ	СВМПЭ
Прочность при растяжении, МПа	34–36	31–37
Относительное удлинение при разрыве, %	46–180	293–329
Предел текучести, МПа	34–36	21–23
Модуль упругости при растяжении, МПа	766–949	563–613

Как видно из таблицы 1, прочность при растяжении ПВДФ составляет 34–36 МПа, относительное удлинение при разрыве находится в диапазоне 46–180 %, предел текучести 34–36 МПа, модуль упругости составляет 766–949 МПа. Прочность при растяжении СВМПЭ 31–37 МПа, относительное удлинение 293–329 %, предел текучести 21–23 МПа, модуль упругости 563–613 МПа. Таким образом, показано, что ПВДФ и СВМПЭ характеризуются достаточно высокими значениями прочности при растяжении, что предполагает способность выдерживать внешние напряжения.

На рисунке 1 приведены результаты исследования морфологии поверхности полимерного имплантата из ПВДФ до и после операции.

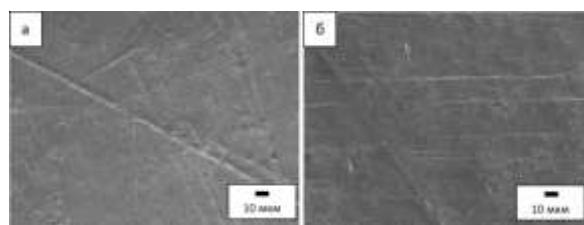


Рисунок 1 – Микрофотографии морфологии поверхности имплантата из ПВДФ: а) до операции; б) после операции

Figure 1 - Micrographs of the surface morphology of the PVDF implant:
a) before surgery; b) after surgery

На микрофотографиях видно, что морфология поверхности имплантата из ПВДФ изменилась после извлечения из животного. У полимера до вживления наблюдаются микровыступы на поверхности имплантата, которые, вероятно, связаны с технологическими особенностями получения полимера. После операции выступы на поверхности имплантата не выявлены, возможно, вымылись в подкожном покрове животного. Таким образом, при введении имплантата из ПВДФ в животное в течение 10 суток происходит изменение морфологии полимера. Необходимы дальнейшие исследования по обработке материала и его влияния на биосовместимость.

Несмотря на короткий промежуток времени имплантации для выявления возможного протекания химических реакций на поверхности имплантата в подкожной среде были проведены исследования методом ИК-спектроскопии, результаты которого приведены на рисунке 2.

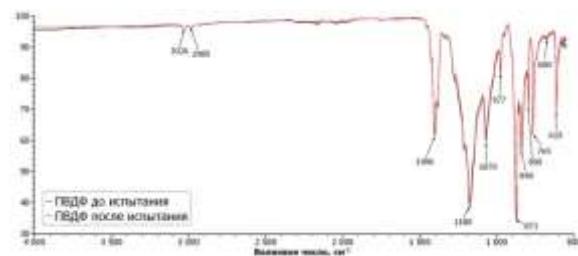


Рисунок 2 – ИК-спектр имплантата из ПВДФ до и после операции

Figure 2 - IR spectrum of a PVDF implant before and after surgery

Как видно из рисунка 3, на ИК-спектрах имплантата из ПВДФ выявлены полосы поглощения с максимумами при 840 и 873 cm^{-1} , характерными для β -формы полимера, максимумы 615, 765 и 977 cm^{-1} характеризуют наличие неупорядоченных цепей α -конформации [6], что свидетельствует о наличии двух разных фаз в данном полимере.

И. П. ТРОЕВ, А. М. СПИРИДОНОВ, Л. Г. МАРИНОВА, А. П. ВАСИЛЬЕВ, С. Н. ДАНИЛОВА, М. П. КИРИЛЛИНА, Д. Н. СИДОРОВА, А. Г. ТУИСОВ, П. Н. ТАРАСОВА, А. А. УШКАНОВ, Н. П. ГЛАДКИНА, Д. В. СИВЦЕВ

Сравнение образца до и после операции не выявило отличий по смещению полос поглощения и интенсивности пиков в ИК-спектрах. Видно, что большинство максимумов поглощения в имплантате были зарегистрированы для исходного ПВДФ, например, 1068, 1405 и 3025 см⁻¹ [7]. Таким образом, методом ИК-спектроскопии выявлено, что при введении имплантата из ПВДФ в подкожный покров животного в течение 10 суток не приводит к изменению функционально-группового состава и полос поглощения ПВДФ.

На рисунке 3 приведены фотографии гистологических срезов участков кожи крысы.

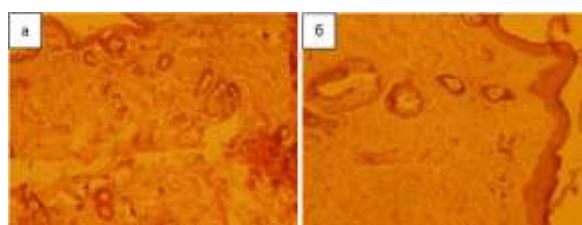


Рисунок 3 – Гистологические срезы кожи крысы вокруг имплантированного ПВДФ: а) участок кожи крысы с контрольных зон; б) участок кожи крысы вокруг импланта

Figure 3 - Histological sections of rat skin around implanted PVDF: a) area of rat skin from control zones; b) area of rat skin around the implant

Вокруг вживленного ПВДФ наблюдается активный неоангиогенез – утолщение кератинового слоя кожи. Признаков иммунореактивности не наблюдаются (рис. 3, б) – количество мононуклеаров в поле зрения не превышает 10 ± 3 клеток. Количество фибробластов и фибробластоподобных клеток не превышает 20 в поле зрения.

На рисунке 4 представлены микрофотографии полимерного материала на основе СВМПЭ до и после клинического испытания.

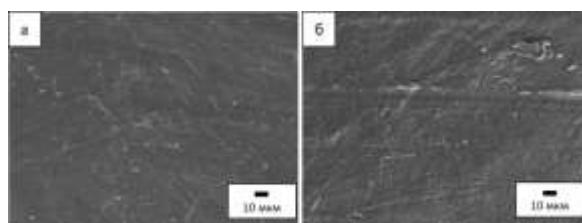


Рисунок 4 – Микрофотографии морфологии поверхности имплантата из СВМПЭ: а) до операции; б) после операции

Figure 4 - Micrographs of the surface morphology of the UHMWPE implant: a) before surgery; b) after surgery

Морфология поверхностей полимерных материалов свидетельствует о том, что поверхность образца после извлечения становится более рыхлой. Так, до клинических испытаний на поверхности СВМПЭ наблюдается наличие микровыступов и небольших углублений, что обусловлено неровностями поверхности пресс-формы. После извлечения наблюдается увеличение размера углублений и наличие выраженных канавок. Возможно, это связано с механическим повреждением материала при введении и извлечении в животное, а также деформированием при нахождении имплантата в организме животного. При этом подповерхностный слой СВМПЭ при дезинфекции в этаноле в течение нескольких дней может частично растворяться, что также может увеличивать шероховатость материала.

ИК-спектры полимерного материала из СВМПЭ до и после клинических испытаний приведены на рисунке 5.

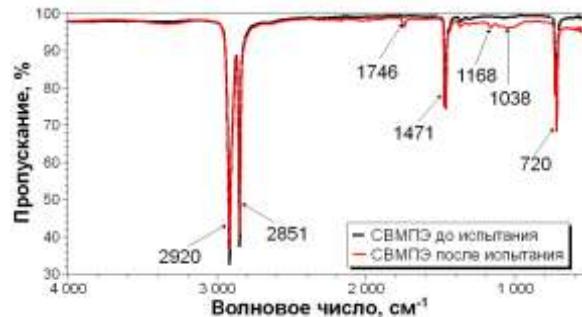


Рисунок 5 – ИК-спектр имплантата из СВМПЭ

Figure 5 - IR spectrum of UHMWPE implant

Как видно из рисунка 5, ИК-спектры полимерного материала характеризуются наличием выраженных пиков при 2920, 2851 и 1471 см⁻¹, соответствующие валентным и деформационным колебаниям -CH_2 связей. Кроме того, зафиксирован пик при 720 см⁻¹, который относится к маятниковым колебаниям полимерной цепи [8]. Образцы после испытания отличаются появлением слабо выраженных пиков при 1746 и 1168 см⁻¹, соответствующие колебаниям С–О связи карбонильных и эпоксидной групп соответственно. Также наблюдается появление широкой полосы поглощения в области 1038 см⁻¹, которая соответствует первичным спиртам. Это свидетельствует о том, что на поверхности имплантата адсорбируются молекулы спирта в процессе пробоподготовки, а также за счет прилипания части прилегающих тканей после клинического испытания.

На рисунке 6 приведены фотографии гистологических срезов участков кожи крысы вокруг СВМПЭ.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ

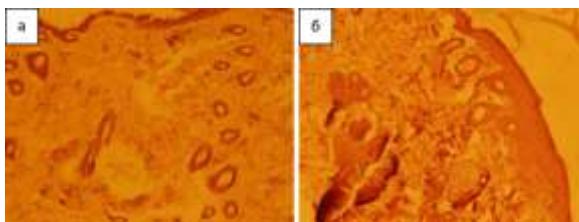


Рисунок 6 – Гистологические срезы кожи крыс вокруг имплантированного СВМПЭ:
а) участок кожи крысы с контрольных зон;
б) участок кожи крысы вокруг импланта

Figure 6 - Histological sections of the skin of rats around the implanted UHMWPE:
a) a section of rat skin from the control zones;
b) area of rat skin around the implant

Воспалительный процесс вокруг СВМПЭ на 10-й день характеризуется активной пролиферацией фибробластов и фиброцитов в дермальном слое кожи (рис. 6, б). В поле зрения насчитывается в среднем 45 ± 5 клеток. Наблюдается выраженная кератинизация эпидермиса с утолщением слоя в 6–8 раз, а также незначительное утолщение эндотелия мелких сосудов. В биоптате отмечается инфильтрация дермы мононуклеарами в количестве в среднем 35 ± 5 клеток в поле зрения. Наблюдаемая гистологическая характеристика воспалительного процесса в целом описывает типичные для завершающих этапов экс-судации и пролиферации морфологические изменения и не свидетельствуют о наличии контактного токсического воздействия. Таким образом, исследования по влиянию имплантатов на основе полимерных материалов из СВМПЭ на животных требует дальнейшей проработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование имплантата из ПВДФ показало, что нахождение образца в лабораторном животном приводит к изменению морфологии поверхности полимера. ИК-спектры до и после операции идентичны, не выявлено смещения полос поглощения и изменение интенсивности пиков.

Исследование имплантата из СВМПЭ показало, что нахождение образца в крысе приводит к изменению его морфологии, заключающейся в увеличении шероховатости материала и размера канавок. Методом ИК-спектроскопии на образцах из СВМПЭ после испытания *in vivo* зафиксировано появление новых полос с максимумами интенсивности 1746 и 1168 см^{-1} .

По результатам гистологического иссле-

дования отмечается миграция иммунокомпетентных клеток в ткани вокруг СВМПЭ, что скорее свидетельствует о наличии воспалительной реакции на присутствие флогогена, а также на качество обработки поверхности имплантата, так как шероховатая поверхность СВМПЭ могла быть триггером воспаления. Признаки воспалительного процесса на ПВДФ оказались меньше, на 10-й день наблюдается начало процессов пролиферации, что соответствует стандартным срокам этапов воспаления у крыс и регенерации. Данный факт свидетельствует об отсутствии ингибирующего воздействия материалов на рост и размножение клеток. Для полной оценки биосовместимости материалов необходимо увеличить сроки проведения эксперимента и улучшить качество обработки поверхности имплантатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Parida P., Behera A., Mishra S.C. Classification of Biomaterials used in Medicine // International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS). 2012. Vol. 1. № 3. Р. 31–35.
2. Ассортимент, свойства и применение фторполимеров Кирово-Чепецкого химического комбината / З.Л. Баскин [и др.] // Российский химический журнал. 2008. Т. 52. № 3. С. 13–22. doi:10.1134/S1070363209030347.
3. UHMWPE for arthroplasty: past or future? / E.M. Brach delPrever [et al.] // Journal of Orthopaedics and Traumatology. 2009. Т. 10. № 1. С. 1–8. doi:10.1007/s10195-008-0038-y.
4. Ultra-high molecular weight polyethylene: influence of the chemical, physical and mechanical properties on the wear behavior. A review / P. Bracco [et al.] // Materials. 2017. Т. 10. № 7. С. 791. doi:10.3390/ma10070791.
5. ГОСТ ISO 10993-6-2011. Библиографическая ссылка. Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 6: Исследования местного действия после имплантации: введ. 2023-01-01. Москва, 2013 : Изд-во стандартов, 2013, 24 с.
6. Живулин В.Е., Жеребцов Д.А., Песин Л.А. Молекулярное строение химически карбонизированных пленок поливинилиденфторида (по данным ИК-спектроскопии) // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 8. С. 80–87.
7. Preparation and characterization of polyurethane (PU)/polyvinylidene fluoride (PVDF) blending membrane / H. Dong [et al.] // Desalination and Water Treatment. 2016. Т. 57. № 8. С. 3405–3413.
8. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений: Справочник. Москва : МГУ, 2012. 55 с.

Информация об авторах

И. П. Троев – старший научный сотрудник лаборатории «Медицинских биотехнологий», Медицинский институт, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.

А. М. Спиридовон – к.х.н., ведущий научный сотрудник – руководитель лаборатории «Полимерные

И. П. ТРОЕВ, А. М. СПИРИДОНОВ, Л. Г. МАРИНОВА, А. П. ВАСИЛЬЕВ, С. Н. ДАНИЛОВА,
М. П. КИРИЛЛИНА, Д. Н. СИДОРОВА, А. Г. ТУИСОВ, П. Н. ТАРАСОВА, А. А. УШКАНОВ,
Н. П. ГЛАДКИНА, Д. В. СИВЦЕВ

композиты для Севера», Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.

Л. Г. Маринова – к.м.н., научный сотрудник лаборатории «Медицинских биотехнологий», Медицинский институт, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

А. П. Васильев – к.т.н., старший научный сотрудник УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов», Институт естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

С. Н. Данилова – младший научный сотрудник лаборатории «Полимерные композиты для Севера», Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова.

М. П. Кириллина – к.б.н., ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории «Преканцерогенеза и злокачественных опухолей» ЯНЦ КМП СО РАН.

Д. Н. Сидорова – лаборант УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов», ассистент химического отделения института естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

А. Г. Тусов – к.т.н., руководитель «Лаборатории композитных материалов Арктики и Субарктики» Федерального исследовательского центра ЯНЦ СО РАН.

П. Н. Тарасова – младший научный сотрудник лаборатории «Полимерные композиты для Севера», Институт естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

А. А. Ушканов – младший научный сотрудник лаборатории «Полимерные композиты для Севера», Институт естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

Н. П. Гладкина – младший научный сотрудник лаборатории «Полимерные композиты для Севера», Институт естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

Д. В. Сивцев – студент химического отделения института естественных наук, Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова.

REFERENCES

1. Parida, P., Behera, A. & Mishra, S.C. (2012). Classification of Biomaterials used in Medicine, *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*, (3), 31-35.
2. Baskin, Z.L., Shabalina, D.A., Vyrazheikin, E.S. & Dedov, S.A. (2008). Range, properties and application of fluoropolymers of the Kirovo-Chepetsk Chemical Combine, *Rossijskij himicheskij zhurnal*, (3), 13-22. (In Russ.). doi:10.1134/S1070363209030347.
3. Brach del Prever, E.M., Alessandro, B., Pierangiola, B. & Luigi, C. (2009). UHMWPE for arthroplasty: past or future? *Journal of Orthopedics and Traumatology*, (1), 1-8. doi:10.1007/s10195-008-0038-y.
4. Bracco, P., Bellare, A., Bistolfi, A. & Affatato, S. (2017). Ultra-high molecular weight polyethylene: influence of the chemical, physical and mechanical properties on the wear behavior. A review, *Materials*, (7), 1-22. doi:10.3390/ma10070791.
5. Medical products. Evaluation of the biological effect of medical devices. Part 6: Local action studies after implantation. (2013). HOST ISO 10993-6-2011 from 1 Jan. 2023. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
6. Zhivulin, V.E., Zhrebtssov, D.A. & Pesin, L.A. (2018). Molecular structure of chemically carbonized films of polyvinylidene fluoride (according to IR spectroscopy), *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, (8), 80-87. (In Russ.).
7. Dong, H., Xiao, K., Tang, X., Zhang, Z., Dai, J., Long, R. & Liao, W. (2016). Preparation and characterization of polyurethane (PU) / Polyvinylidene fluoride (PVDF) blending membrane, *Desalination and Water Treatment*, (8), 3405-3413. doi: 10.1080/19443994.2014.988659.
8. Tarasevich, B.N. (2012). IR spectra of the main classes of organic compounds. (In Russ.).

Information about the authors

I.P. Troev - Senior Researcher, Laboratory of Medical Biotechnologies, Medical Institute, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

A.M. Spiridonov - Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory "Polymer composites for the North", Institute of Natural Sciences, NEFU.

L.G. Marinova - Candidate of Medical Sciences, Researcher at the Laboratory of Medical Biotechnologies, Medical Institute, NEFU.

A.P. Vasiliev - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Educational, Scientific and Technological Laboratory "Technologies of Polymer Nanocomposites", Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

S.N. Daniilova - Junior Researcher of the Laboratory "Polymer Composites for the North", Institute of Natural Sciences, NEFU.

M.P. Kirillina - Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Precarcinogenesis and Malignant Tumors of the Yakut Scientific Center for Complex Medical Problems of the Siberian Branch of the RAS.

D.N. Sidorova - Laboratory Assistant of the Educational, Scientific and Technological Laboratory "Technologies of Polymer Nanocomposites", Assistant of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

A.G. Tuisov - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Composite Materials of the Arctic Subarctic of the Federal Research Centre The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the RAS.

P.N. Tarasova - Junior Researcher, Laboratory "Polymer composites for the North", Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

A.A. Ushkanov - Junior Researcher, Laboratory "Polymer composites for the North", Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

N.P. Gladkina - Junior Researcher, Laboratory "Polymer composites for the North", Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

D.V. Sivtsev - Student of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov.

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

Статья поступила в редакцию 08.12.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 08 Dec 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕВОГО КОМПОНЕНТА ИЗ ПОРИСТЫХ ЧАСТИЦ ПУТЕМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПУЗЫРЬКАМИ ГАЗА

Валерия Витальевна Авраменко¹, Александр Иванович Мошинский²,
Лариса Николаевна Рубцова³, Лада Александровна Цыганкова⁴

^{1, 2, 3, 4} Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет,
Санкт-Петербург, Россия

¹ valeriya.avramenko@spcpu.ru

² alexander.moshinsky@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0001-7135-0823>

³ larisa.rubtsova@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0003-1687-1890>

⁴ lada.cygankova@spcpu.ru

Аннотация. Предложена математическая модель извлечения целевого компонента из пористой частицы при помощи интенсивных ударов по частице пузырьками газа. Предполагается дискретное описание процесса, связанное с количеством ударов пузырьков по частице. Получены уравнения, связывающие концентрации экстрагента в частице и межчастичном пространстве после двух последовательных ударов по частице. Для решения сформулированной задачи привлекаются методы линейной алгебры. Точнее находятся собственные числа переходной матрицы и осуществляется построение диагональной матрицы. Это позволило вычислить предельное состояние системы при очень большом количестве ударов пузырьков о частицу. Среднее значение концентрации целевого компонента определяется при помощи распределения Пуассона. Осуществлен переход к непрерывной по времени модели и получено ее решение. Два подхода, дискретный и непрерывный, приводят к согласованным результатам.

Ключевые слова: целевой компонент, экстрагирование, пористая частица, взаимодействие.

Для цитирования: Моделирование процесса выделения целевого компонента из пористых частиц путем их взаимодействия с пузырьками газа / В. В. Авраменко [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 185–190. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.023. EDN: <https://elibrary.ru/HZBNHY>.

Original article

MODELING OF THE PROCESS OF SEPARATION OF THE TARGET COMPONENT FROM POROUS PARTICLES BY THEIR INTERACTION WITH GAS BUBBLES

Valeria V. Avramenko¹, Alexander I. Moshinsky²,
Larisa N. Rubtsova³, Lada A. Tsygankova⁴

^{1, 2, 3, 4} Saint Petersburg State University of Chemistry and Pharmacy, Saint Petersburg, Russia

¹ valeriya.avramenko@spcpu.ru

² alexander.moshinsky@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0001-7135-0823>

³ larisa.rubtsova@pharminnotech.com, <https://orcid.org/0000-0003-1687-1890>

⁴ lada.cygankova@spcpu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕВОГО КОМПОНЕНТА ИЗ ПОРИСТЫХ ЧАСТИЦ ПУТЕМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПУЗЫРЬКАМИ ГАЗА

Abstract. A mathematical model is proposed for extracting the target component from a porous particle by means of intense impacts on the particle with gas bubbles. A discrete description of the process is assumed, related to the number of bubble impacts on the particle.

Equations are obtained that relate the concentrations of the extractant in the particle and the interparticle space after two successive impacts on the particle. To solve the formulated problem, linear algebra methods are used. More precisely, the eigenvalues of the transition matrix are found, and the diagonal matrix is constructed. This made it possible to calculate the limiting state of the system for a very large number of bubble impacts on the particle. The average value of the concentration of the target component is determined using the Poisson distribution. A transition to a time-continuous model is made and its solution is obtained. The two approaches, discrete and continuous, lead to consistent results.

Keywords: target component, extraction, porous particle, interaction.

For citation: Avramenko, V.V., Moshinskiy, A.I., Rubtsova, L.N. & Tsygankova, L.A. (2023). Modeling of the process of separating the target component from porous particles by their interaction with gas bubbles. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 185-190. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.023. EDN: <https://elibrary.ru/HZBNHY>.

ВВЕДЕНИЕ

В рассматриваемой дисперсной системе средний размер пузырька ρ существенно меньше размера (радиуса) пористой частицы R , содержащей целевой компонент, т. е. $R \gg \rho$. Считая динамические процессы внутри пузырька слабоинтенсивными, можем полагать избыток давления газа в пузырьке, равным $2\sigma/\rho$, где σ – коэффициент поверхностного натяжения. В таком случае при соприкосновении частицы с пузырьком и разрушением части поверхности слоя (газ-жидкость) пузырька, на небольшом участке границы между частицей и пузырьком возникнет относительно большое избыточное давление (своеобразный взрыв), которое выдавливает из частицы целевой компонент.

Учитывая принятые допущения и сложность детального анализа стадии схлопывания пузырька, точнее ее влияния на массообмен частицы и пузырька, были рассмотрены определенные фильтрационные задачи [9], относящиеся к проблеме извлечения экстрагента из частицы и содержащие дополнительные упрощения.

Существует несколько математических моделей для описания процесса экстрагирования [1–3]. Достаточно распространены модели, опирающиеся на описание процесса двумя взаимопроникающими (взаимодействующими) континуумами [3–9 и др.]. Менее известны дискретные модели экстрагирования [3,10–13], имеющие экспериментальное обоснование [3, 10, 14]. Рассматривают также модели с извлечением целевого вещества из поры (набора пор) [15, 16]. Здесь предлагается дискретная модель, для анализа которой используется метод теории вероятности [17–19].

ЭВОЛЮЦИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ В ЧАСТИЦЕ И ОКРУЖАЮЩЕМ ПРОСТРАНСТВЕ

Будем полагать, что за время между ударами пузырьков о частицу концентрация экстрагента успевает выровняться как внутри частицы, так и в межчастичном пространстве. Выделим три объема (площади) в пространстве аппарата (рис. 1.). Частица состоит из двух областей с объемами V_1 (объем проникшей после взаимодействия с пузырьком межчастичной жидкостью) и V_2 (объем, в котором сохраняется экстрагент). Оставшуюся часть сферической ячейки составляет межчастичное пространство, приходящееся на одну частицу.

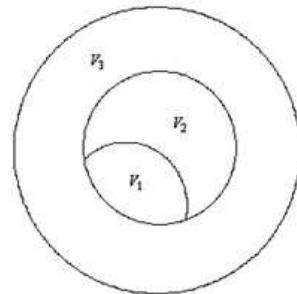


Рисунок 1 – Схема разбиения пространства, связанного с частицей.

Figure 1 - Partitioning scheme of the space associated with a particle

Таким образом, отношение объема межчастичного пространства V_3 к объему частицы, которое мы считаем постоянным числом в течение процесса, определяется формулой $\phi = V_3/(V_1 + V_2)$. Доля объема частицы, связанная с оставшимся в ней экстрагентом, равна $\chi = V_2/(V_1 + V_2)$. В данной работе мы не будем касаться вопросов удаления целевого

компоненты из межчастичного пространства. Подразумевается, что этот процесс будет организован позднее. Пусть в некоторый момент до очередного ($i + 1$ -го) взаимодействия частицы с пузырьками концентрации экстрагента в частице и межчастичном пространстве равны соответственно c_i и b_i . Тогда материальный баланс по экстрагенту, в силу вышесказанного, таков:

$$c_{i+1}(V_1 + V_2) = c_i V_2 + b_i V_1,$$

$$b_{i+1}V_3 = b_i V_3 + (c_i - b_i)V_1;$$

или

$$c_{i+1} = \chi c_i + (1 - \chi) b_i,$$

$$b_{i+1} = b_i + \frac{(c_i - b_i)(1 - \chi)}{\varphi}. \quad (1)$$

Таким образом, изменение концентрации экстрагента после удара пузырька о частицу определяется матрицей \mathbf{B} с компонентами $B_{11} = \chi$, $B_{12} = 1 - \chi$, $B_{21} = (1 - \chi)/\varphi$, $B_{22} = 1 - (1 - \chi)/\varphi$. Введя вектор-столбец

$$\mathbf{Z}_i = \begin{pmatrix} c_i \\ b_i \end{pmatrix},$$

формулы (1) можно представить в матричном виде

$$\mathbf{Z}_{i+1} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{Z}_i. \quad (2)$$

Тогда после N взаимодействий частицы с пузырьками значение концентраций c_N и b_N определяется выражением

$$\mathbf{Z}_N = \mathbf{B}^N \cdot \mathbf{Z}_0, \quad (3)$$

где \mathbf{Z}_0 – матрица-столбец начального состояния. Для вычисления N -ой степени матрицы \mathbf{B} целесообразно привести ее к диагональной форме [20, 21].

Собственные значения матрицы \mathbf{B} находятся из уравнения [20, 21]

$$|\mathbf{B} - \lambda \mathbf{E}| = 0, \quad (4)$$

где \mathbf{E} – единичная матрица. Раскрыв определитель, получаем для нахождения λ квадратное уравнение

$$(\mathbf{B}_{11} - \lambda)(\mathbf{B}_{22} - \lambda) = \mathbf{B}_{12} \cdot \mathbf{B}_{21}, \quad (5)$$

которое имеет решения

$$\lambda_1 = 1; \lambda_2 = \chi - \frac{(1 - \chi)}{\varphi} = y. \quad (6)$$

Отвечающие им собственные вектора можно взять в виде

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ и } \begin{pmatrix} -\varphi \\ 1 \end{pmatrix}$$

соответственно. Построив из этих столбцов матрицу \mathbf{W} и обратную ей \mathbf{W}^{-1}

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} 1 & -\varphi \\ 1 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{W}^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & \varphi \\ 1 + \varphi & 1 + \varphi \\ -1 & 1 \\ 1 + \varphi & 1 + \varphi \end{pmatrix}, \quad (7)$$

согласно общей теории [18, 19] матрицу \mathbf{B} можно представить как произведение матриц

$$\mathbf{B} = \mathbf{W} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{W}^{-1}, \quad (8)$$

где \mathbf{D} диагональная матрица на диагонали которой стоят собственные числа λ_1 и λ_2 :

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & y \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Теперь выражение (3) можно записать так

$$\mathbf{Z}_N = \mathbf{W} \cdot \mathbf{D}^N \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{Z}_0, \quad (10)$$

где

$$\mathbf{D}^N = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & y^N \end{pmatrix}. \quad (11)$$

В обычной (не слишком плотной) системе реализуется неравенство $\varphi > 1$. Учитывая также, что $\chi < 1$, убеждаемся в выполнении неравенства $|y| < 1$. В таком случае при достаточно большом числе столкновений N , $y^N \rightarrow 0$, и матрица $\mathbf{D}^N \equiv \mathbf{D}^\infty$ имеет только один ненулевой элемент $D_{11} = 1$. При этом из соотношения (10) следует, что происходит полное выравнивание концентрации экстрагента по всему объему системы

$$c_\infty = b_\infty = \frac{c_0 + \varphi b_0}{1 + \varphi}. \quad (12)$$

В частном случае, когда в начальный момент времени целевого компонента не было в межчастичном пространстве, то есть $b_0 = 0$, формула (12) упрощается.

Отметим еще один интересный случай $\varphi \gg 1$, отвечающий малой доле частиц в общем объеме системы. При анализе проще опираться на формулы (1), из которых следует, во-первых, что концентрация b_i не меняется при столкновениях и, во-вторых, для c_i получается формула геометрической прогрессии $c_{i+1} = \chi c_i$, если принять, что в начальный момент времени в межчастичном пространстве не было экстрагента ($b_0 = 0$, а значит и $b_i = 0$).

Часто интерес представляет только концентрация экстрагента в частице. Если, как и выше, считать $b_0 = 0$, то из соотношения (10) можно получить

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕВОГО КОМПОНЕНТА ИЗ ПОРИСТЫХ ЧАСТИЦ ПУТЕМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПУЗЫРЬКАМИ ГАЗА

$$c_N = (\mathbf{W}_{11} \mathbf{W}_{11}^{-1} + \mathbf{W}_{12} \mathbf{W}_{21}^{-1} y^N) c_0 = \frac{c_0}{1+\varphi} (1+\varphi y^N). \quad (13)$$

Видим, что при принятых условиях формула (13) согласуется с (12) при $N \rightarrow \infty$.

Примечательно наличие у матрицы \mathbf{B} собственного числа, равного единице. Попробуем найти закон сохранения для системы (2). Из соотношений (1) легко получаем

$$c_{i+1} + \varphi b_{i+1} = c_i + \varphi b_i = c_0 + \varphi b_0, \quad (14)$$

что представляет собой просто закон сохранения массы экстрагента в системе. Это выражение можно использовать для исключения одной из переменных в системе (1) и тем самым свести дело к одномерным матрицам (числам). Имеем, исключая b_{i+1} :

$$c_{i+1} = (1-\chi)(c_0 + \varphi b_0) / \varphi + y c_i. \quad (15)$$

Решение этого разностного уравнения, которое легко сводится к геометрической прогрессии, имеет вид

$$c_N = \frac{c_0 + \varphi b_0}{1+\varphi} + \frac{\varphi(c_0 - b_0)}{1+\varphi} y^N. \quad (16)$$

Для концентрации экстрагента в межчастичном пространстве из зависимостей (14) и (16) находим

$$b_N = \frac{c_0 + \varphi b_0}{1+\varphi} - \frac{c_0 - b_0}{1+\varphi} y^N. \quad (17)$$

что согласуется с формулой (14).

Естественно, что точно такое же выражение получается при записи в компонентах матричного равенства (10). В частности, при $b_0 = 0$ (17) переходит в (13).

Поскольку число ударов пузырьков о частицу за данное время может быть различным, целесообразно использовать функцию распределения для целочисленной случайной величины N при определении средней концентрации. На практике для подобных целей чаще всего используется распределение Пуассона [15, 16, 22]. Вероятность осуществления k столкновений, согласно распределению Пуассона, определяется формулой

$$P_k = \frac{\langle N \rangle^k}{k!} \exp(-\langle N \rangle). \quad (18)$$

где $\langle N \rangle$ – среднее число (математическое ожидание) ударов по частице.

В таком случае для средней концентрации (математического ожидания c) имеем

$$\begin{aligned} \langle c \rangle &= \sum_{i=0}^{\infty} P_i c_i = \frac{c_0 + \varphi b_0}{1+\varphi} + \\ &+ \frac{\varphi(c_0 - b_0)}{1+\varphi} \exp(-\langle N \rangle) \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\langle N \rangle^i y^i}{i!} = \\ &= \frac{c_0 + \varphi b_0}{1+\varphi} + \frac{\varphi(c_0 - b_0)}{1+\varphi} \exp[\langle N \rangle(y-1)]. \end{aligned} \quad (19)$$

При этом постоянное слагаемое при осреднении по статистике Пуассона не меняется (P_k отвечают вероятностям для полной системы событий). Аналогично имеем

$$\begin{aligned} \langle b \rangle &= \sum_{i=0}^{\infty} P_i b_i = \frac{c_0 + \varphi b_0}{1+\varphi} - \\ &- \frac{c_0 - b_0}{1+\varphi} \exp[\langle N \rangle(y-1)]. \end{aligned} \quad (20)$$

Поскольку $\langle N \rangle \sim \infty$ (например, $\langle N \rangle = \pi R^2 n u t$ [22], где n – концентрация частиц, u – их средняя скорость), то формула (20) совпадает с известной [23] зависимостью

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\langle b \rangle}{b_{\infty}} = \\ &= 1 - \frac{c_0 - b_0}{c_0 + \varphi b_0} \exp(-\zeta \tau), \\ b_{\infty} &= \frac{c_0 + \varphi b_0}{1+\varphi}, \end{aligned} \quad (21)$$

где постоянная ζ определяется коэффициентом пропорциональности в зависимости $\langle N \rangle \sim \infty$ и формулой (20).

Определенный интерес представляет эволюция системы при малых изменениях от удара к удару пузырька о частицу, что характерно для больших значений времени и связано с крупномасштабными изменениями во времени. При этом можно использовать следующую аппроксимацию для концентраций c_i и b_i

$$\begin{aligned} c_{i+1} &= c_i + T \frac{dc_i}{d\tau}, \\ b_{i+1} &= b_i + T \frac{db_i}{d\tau}, \end{aligned} \quad (22)$$

где T – среднее время между столкновениями. Подставляя эти соотношения в (1) и опуская индекс i , получаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dc}{dt} &= b - c, \quad \varphi \frac{db}{dt} = c - b, \\ t &= \frac{(1-\chi)\tau}{T}, \end{aligned} \quad (23)$$

которую дополняют начальные условия

$$c(0) = c_0, b(0) = b_0. \quad (24)$$

Складывая уравнения (23) и интегрируя, находим первый интеграл

$$c + \varphi b = c_0 + \varphi b_0 \quad (25)$$

имеющий тот же физический смысл, что и (14). Выражая из (25) b как функцию c и подставляя результат в первое уравнение (23), приходим к уравнению для определения c

$$\varphi \frac{dc}{dt} = c_0 + \varphi b_0 - (1 + \varphi) c. \quad (26)$$

Решение уравнения (26) при соответствующем условии (24) имеет вид

$$\begin{aligned} c &= \frac{c_0 + \varphi b_0}{1 + \varphi} + \\ &+ \frac{\varphi(c_0 - b_0)}{1 + \varphi} \exp\left(-\frac{\tau}{\theta}\right), \quad (27) \\ \theta &= \frac{\varphi\tau}{(1 + \varphi)(1 - \chi)}, \end{aligned}$$

по форме совпадающий с (19) при $\langle N \rangle \sim \infty$. При помощи (25) определяем также концентрацию в межчастичном пространстве

$$b = \frac{c_0 + \varphi b_0}{1 + \varphi} - \frac{c_0 - b_0}{1 + \varphi} \exp\left(-\frac{\tau}{\theta}\right). \quad (28)$$

При $\tau \rightarrow \infty$ получаем тот же результат, что и для дискретной модели: (12)

В статье описана эволюция дискретной и непрерывной модели выделения из пористой частицы целевого компонента, а также получено финальное значение концентрации целевого компонента в частице. В перспективе уравнение процесса можно обобщить на учет удаления целевого компонента из межчастичного пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романков П.Г., Курочкина М.И. Экстрагирование из твердых материалов. Л. : Химия, 1983. 256 с.
2. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование (система твердое тело-жидкость). Л. : Химия. 1974. 256 с.
3. Бабенко Ю.И., Иванов Е.В. Экстрагирование. Теория и практические приложения. Санкт-Петербург: НПО «Профессионал», 2009. 336 с.
4. Мошинский А.И. Математическая модель пропитки и экстрагирования в случае бидисперсного пористого материала // Теорет. основы хим. технологии. 2009. Т. 43, № 4. С. 401–407.
5. Мошинский А.И. Математическая модель массопереноса в случае бидисперсного пористого материала // Инженерно-физический журн. 2009. Т. 82, № 2. С. 258–272.
6. Мошинский А.И. Тепломассоперенос в пористом материале при учете релаксации потока массы // Математическое моделирование. 2015. Т. 27, № 4. С. 97–114.
7. Абиев Р.Ш. Исследование процесса экстрагирования из капиллярно-пористой частицы с бидисперсной структурой // Журн. прикл. химии. 2001. Т. 74, № 5. С. 754–761.
8. Абиев Р.Ш., Островский Г.М. Моделирование процесса экстрагирования из капиллярно-пористой частицы с бидисперсной структурой // Теорет. основы хим. технологии. 2001. Т. 35, № 3. С. 270–275.
9. Tondeur D. Le lavage des gâteaux de filtration // Chimie industrie. Génie chimique. 1970. V. 103. № 21. P. 2799–2808.
10. Мошинский А.И., Иванов Е.В. Фильтрация жидкости в пористой частице под воздействием импульсов давления на локальных участках ее поверхности // Теорет. основы хим. технологии. 2008. Т. 42, № 2. С. 160–169.
11. Иванов Е.В., Бабенко Ю.И. Элементарные модели экстрагирования из пористых частиц под действием импульсов давления // Журн. прикл. химии. 2005. Т. 78, № 9. С. 1487–1492.
12. Мошинский А.И. Моделирование тепломассообменных процессов на основе обобщенных диффузионных уравнений. М. : Изд-во КНОРУС, 2019. 444 с.
13. Мошинский А.И. Одномерные дискретные математические модели экстрагирования из пористого материала // Теорет. основы хим. технолог. 2010. Т. 44, № 1. С. 45–53.
14. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного ввода энергии. II. Исследования поведения ансамбля паровых пузырьков // Пром. теплотехника, 1996, Т. 18, № 1. С. 3–23.
15. Turner G.A. The frequency response of some illustrative models of porous media // Chem. Eng. Sci. 1959. V. 10. № 1. P. 14–21.
16. Han C.D., Bixler H.J. Washing of the liquid Retained by Granular Solids // Am. Inst. Chem. Eng. Journal. 1967. V. 13. № 6. P. 1058–1066.
17. Агекян Т.А. Теория вероятностей для астрономов и физиков. М. : Наука, 1974. 264 с.
18. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках. М. : Мир, 1986. 528 с.
19. Босс В. Лекции по математике. Т. 4: Вероятность, информация, статистика. Изд. 2-е. испр. М. : Изд-во ЛКИ. 2008. 216 с.
20. Босс В. Лекции по математике. Т. 3: Линейная алгебра. М. : КомКнига. 2005. 224 с.
21. Белман Р. Введение в теорию матриц. 2-е издание. М. : Наука, 1976. 352 с.
22. Стратонович Р.Л., Полякова М.С. Элементы молекулярной физики, термодинамики и статистической физики. М. : Изд-во МГУ, 1981. 176 с.
23. Пономарев В.Д. Экстрагирование растительного сырья. М. : Медицина, 1976. 202 с.

Информация об авторах

В. В. Авраменко – студентка Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета по направлению «Химическая технология».

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕВОГО КОМПОНЕНТА ИЗ ПОРИСТЫХ ЧАСТИЦ ПУТЕМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПУЗЫРЬКАМИ ГАЗА

А. И. Мошинский – кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии» Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета.

Л. Н. Рубцова – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры «Процессов и аппаратов химической технологии» Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета.

Л. А. Цыганкова – студентка Санкт-Петербургского государственного химико-фармацевтического университета по направлению «Химическая технология».

REFERENCES

1. Romankov, P.G. & Kurochkina, M.I. (1983). Extraction from solid materials. L: Chemistry. (In Russ.).
2. Akselrud, G.A. & Lysyansky, V.M. (1974). Extraction (solid-liquid system). L: Chemistry. (In Russ.).
3. Babenko, Yu.I. & Ivanov, E.V. (2009). Extra-gation. Theory and practical applications. Saint Petersburg: NGO "Professional". (In Russ.).
4. Moshinsky, A.I. (2009). Mathematical model of impregnation and extraction in the case of a bidisperse porous material. Fundamentals of chemical technology. 43(4). 401-407. (In Russ.).
5. Moshinsky, A.I. (2009). Mathematical model of mass transfer in the case of a bidispersed porous materia. Engineering-Physical Journal. 82(2). 258-272. (In Russ.).
6. Moshinsky, A.I. (2015). Heat and mass transfer in a porous material taking into account the relaxation of the mass flow // Mathematical modeling. 27(4). 97-114. (In Russ.).
7. Abiev, R.S. (2001). Investigation of the extraction process from a capillary-porous particle with a bidisperse structure. Journal. prikl. chemistry. 74(5). 754-761. (In Russ.).
8. Abiev, R.Sh. & Ostrovsky, G.M. (2001). Modeling of the extraction process from a capillary-porous particle with a bidisperse structure. Theory. fundamentals of chemical technology. 35(3). 270-275. (In Russ.).
9. Tondeur D. (1970). Le lavage des gâteaux de filtration. Chimie industrie. Géniechimique. 103(21). 2799-2808. (In Russ.).
10. Moshinsky, A.I. & Ivanov, E.V. (2008). Filtration of liquid in a porous particle under the influence of pressure pulses on the local areas of its surface. Theory. fundamentals of chemical technology. 42(2). 160-169. (In Russ.).
11. Ivanov, E.V. & Babenko, Yu.I. (2005). Elementary models of extraction from porous particles under the action of pressure pulses // Journal. prikl. chemistry. 78(9). 1487-1492. (In Russ.).
12. Moshinsky, A.I. (2019). Modeling of heat and mass transfer processes based on generalized diffusion equations. Moscow: KNORUS Publishing House. (In Russ.).
13. Moshinsky, A.I. (2010). One-dimensional discrete mathematical models of extraction from porous material. Theor. the main chemical. technol. 44(1). 45-53. (In Russ.).
14. Dolinsky, A.A. & Ivanitsky, G.K. (1996). Theoretical substantiation of the principle of discrete-pulse energy input. II. Studies of the behavior of an ensemble of steam bubbles. Prom. teplotekhnika, 18(1). 3-23. (In Russ.).
15. Turner, G.A. (1959). The frequency response of some illustrative models of porous media. Chem. Eng. Sci. 10(1). 14-21.
16. Han, C.D. & Bixler, H.J. (1967). Washing of the liquid Retained by Granular Solids. Am. Inst. Chem. Eng. Journal. 13(6). 1058-1066.
17. Agekyan, T.A. (1974). Probability theory for astronomers and physicists. Moscow: Nauka. (In Russ.).
18. Gardiner, K.V. (1986). Stochastic methods in natural sciences. Moscow: Mir. (In Russ.).
19. Boss, V. (2008). Lectures on mathematics. Vol. 4: Probability, information, statistics. Ed. 2nd. ispr. M.: LKI Publishing House. (In Russ.).
20. Boss, V. (2005). Lectures on mathematics. Vol. 3: Linear algebra. M.: KomKniga. (In Russ.).
21. Belman, R. (1976). Introduction to matrix theory. 2nd edition. Moscow: Nauka. (In Russ.).
22. Stratonovich, R.L. & Polyakova, M.S. (1981). Elements of molecular physics, thermodynamics and statistical physics. Moscow: Publishing House of Moscow State University. (In Russ.).
23. Ponomarev, V.D. (1976). Extraction of plant raw materials. M.: Medicine. (In Russ.).

Information about the authors

V.V. Avramenko - is a student of the St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University in the direction of "Chemical Technology".

A.I. Moshinsky - is a candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Processes and Devices of Chemical Technology" of the St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.

L.N. Rubtsova - is a candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of "Processes and Devices of Chemical Technology" of the St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.

L.A. Tsygankova - is a student of the St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University in the direction of "Chemical Technology".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 30.11.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 30 Nov 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



Научная статья

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 66.074.2:697.94

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.024

EDN: GVPTZQ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА

**Вадим Эдуардович Зинуров¹, Рустем Ядкарович Биккулов²,
Оксана Сергеевна Дмитриева³, Ильнур Наилович Мадышев⁴,
Азалия Айратовна Абдуллина⁵**

^{1, 2, 5} Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

^{3, 4} Казанский национальный исследовательский технологический институт, Казань, Россия

¹ vadd_93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1380-4433>

² bikkulov-ry@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4783-147X>

³ ja_deva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6221-0167>

⁴ ilnur_91@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9513-894X>

⁵ azalkaab dullina69826@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4047-4919>

Аннотация. Химическая промышленность является одним из основных источников выбросов мелкодисперсных частиц в окружающую среду. Они представляют угрозу для здоровья человека, негативно влияют на окружающую среду и изменение климата. Частицы трудно улавливаются с помощью традиционных технологий сепарации. С целью решения проблемы авторами работы предлагается конструкция мультивихревого сепаратора. В статье представлен принцип его действия. Целью данной работы является экспериментальное определение гидравлического сопротивления мультивихревого сепаратора. В работе рассматривается влияние двух вариантов конструктивного оформления сепаратора на его гидравлическое сопротивление. В первом варианте очищенный поток воздуха выходит непосредственно через сепарационные каналы. Во втором варианте на заднюю часть сепаратора устанавливалась крышка с круглыми отверстиями для выхода воздуха, которые позволяли формировать более устойчивую вихревую структуру в сепарационных каналах. Для определения гидравлического сопротивления мультивихревого сепаратора была создана экспериментальная установка, распечатанная поэлементно на 3D принтере, включающая воздуходувку, ресивер, трубу Вентури, мультивихревой сепаратор и дифференциальные манометры. В ходе проведения экспериментальных исследований получены зависимости потери давления мультивихревого сепаратора от скорости воздуха на входе в устройство для обоих конструктивных оформлений устройства. На основе проведенных исследований сделаны выводы: гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора с открытыми сепарационными каналами D_{op} составляет 14 до 204 Па при скорости воздуха на входе в устройство от 1,4 до 7,7 м/с, гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора с установленной крышкой с отверстиями для выхода потока воздуха D_{cl} составляет от 42 до 1833 Па при скорости воздуха на входе в устройство от 0,8 до 4,9 м/с, усложнение конструкции приводит к увеличению гидравлического сопротивления и, вероятнее всего, повышению эффективности, вследствие формирования более устойчивой вихревой структуры.

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, мультивихревой сепаратор, вихревая структура, сепарационное устройство, мелкодисперсные частицы, сепарация, потеря давления, вихревое устройство, вихреобразование, труба Вентури, фильтр.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП – 3577.2022.1.

Для цитирования: Экспериментальное определение гидравлического сопротивления мультивихревого сепаратора / В. Э. Зинуров [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 191–199.
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.024. EDN: <https://elibrary.ru/GVPTZQ>.

Original article

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF HYDRAULIC RESISTANCE OF A MULTI VORTEX SEPARATOR

Vadim E. Zinurov ¹, Rustem Ya. Bikkulov ², Oksana S. Dmitrieva ³,
Ilnur N. Madyshev ⁴, Azaliya A. Abdullina ⁵

^{1, 2, 5} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

^{3, 4} Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

¹ vadd_93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1380-4433>

² bikkulov-ry@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4783-147X>

³ ja_deva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6221-0167>

⁴ ilnry_91@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9513-894X>

⁵ azalkaabdullina69826@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4047-4919>

Abstract. The chemical industry is one of the main sources of fine particle emissions into the environment. They pose a threat to human health, adversely affect the environment and climate change. Particles are difficult to capture with conventional separation technologies. In order to solve the problem, the authors of the work propose the design of a multi-vortex separator. The article presents the principle of its operation. The purpose of this work is to experimentally determine the hydraulic resistance of a multi-vortex separator. The paper considers the influence of two variants of the design of the separator on its hydraulic resistance. In the first version, the purified gas flow exits directly through the separation channels. In the second variant, they installed a cover with round holes for the gas outlet on the back of the separator, which made it possible to form a more stable vortex structure on the separation channels. To determine the hydraulic resistance of a multi-vortex separator, it created an experimental setup, printed element by element on a 3D printer, including a blower, a receiver, a Venturi tube, a multi-vortex separator, and differential pressure gauges. In experimental studies, the dependences of the pressure loss of a multi-vortex separator on the air velocity at the inlet to the device were obtained for both design designs of the device. Based on the studies carried out, the following conclusions were drawn: the hydraulic resistance of a multi-vortex separator with open separation channels Δp_{op} is 14 to 204 Pa at an air velocity at the inlet to the device from 1.4 to 7.7 m/s, the hydraulic resistance of a multi-vortex separator with an installed cover with holes for gas flow outlet Δp_{cl} is from 42 to 1833 Pa at an air velocity at the inlet to the device from 0.8 to 4.9 m/s, the complication of the design leads to an increase in hydraulic resistance and, most likely, an increase in efficiency because of the formation of a more stable vortex structure.

Keywords: hydraulic resistance, multi-vortex separator, vortex structure, separation device, fine particles, separation, pressure loss, vortex device, vortex formation, venturi pipe, filter.

Acknowledgements: the study was carried out with the financial support of the scholarship of the President of the Russian Federation to young scientists and postgraduate's SP – 3577.2022.1.

For citation: Zinurov, V.E., Bikkulov, R.Ya., Dmitrieva, O.S., Madyshev, I.N. & Abdullina, A.A. (2023). Experimental determination of hydraulic resistance of a multi-vortex separator. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 191-199. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.024. EDN: <https://elibrary.ru/GVPTZQ>.

ВВЕДЕНИЕ

Многие технологические процессы современной химической, нефтехимической промышленности сопряжены с образованием мелкодисперсных маслянистых частиц диаметром менее 20–30 мкм, например, такие как процессы нанесения и отверждения краски на изделиях готовой продукции. Отсутствие систем вентиляции липких паров и туманов краски приводит к быстрому загрязнению всего производственного помещения, что

абсолютно не допустимо, т.к. мелкие и очень липкие частицы оказывают серьезный вред дыхательной и иммунной системе работников [1], а также окружающей среде [2]. Очистка поверхностей оборудования, вспомогательных и других конструкций в случае их загрязнения требует серьезных затрат, а в некоторых случаях просто невозможна. В настоящее время широко используемые способы обработки лакокрасочного тумана можно разделить на сухие и влажные. Сухие спо-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА

собы представляют собой многоступенчатую систему очистки воздуха, и в основном состоят из применения фильтровального материала разных классов очистки [3]. Мокрые способы основаны на применении в основном распылительных колонн, водяной завесы и т.д. [4]. Такие способы по сравнению с сухими отличаются простотой в эксплуатации и экономичностью, однако трудности возникают с удалением микронных частиц и возникновением вторичных загрязнений в виде сточных вод [5]. При этом проведено много работ по изучению удаления лакокрасочного тумана и очистки отработанных газов от летучих органических веществ, поскольку их трудно уловить с помощью традиционных технологий сепарации из-за малого аэродинамического диаметра и легкого веса [6–8]. Таким образом, несмотря на то, что существует несколько вариантов очистки и оснащения окрасочных камер, модернизация их систем вентиляции с целью повышения эффективности и экологичности процесса является актуальной задачей. Стоит отметить, что одним из важных параметров системы фильтрации воздуха является значение скорости потока в камере для организации равномерного и правильного отвода лакокрасочного тумана, не допуская ухудшения очистки воздуха в зоне окраски, увеличения нагрузки на вытяжную систему и оседания избыточной краски на уже окрашенные детали. Перепад скоростей воздуха в камере может вызвать турбулентность воздушного потока и ухудшить производительность фильтрующих материалов, что неблагоприятным образом скажется на качестве покрытия изделий и чистоте воздуха покрасочной камеры [9].

Авторами работы предлагается мультивихревой сепаратор в качестве второй ступени очистки воздуха от мелкодисперсных частиц после фильтров грубой очистки, что является вариантом модернизации окрасочной камеры при увеличении срока службы фильтров тонкой очистки. Принцип действия мультивихревого сепаратора описан в работах [10, 11]. Загрязненный поток воздуха входит в мультивихревой сепаратор через квадратные входные отверстия 2 (рис. 1, а), далее поток распределяется по круглым отверстиям 3 и 4, которые проделаны в стенках элементов квадратной формы 5. Причем в отверстия 3 идет большая часть воздуха, а в отверстия 4 – соответственно меньшая. Элементы квадратной формы 5, дно которых образуется за счет установки крышечек 7 в специальные пазы, или же крышки с круглыми отверстиями 8, образуют сепарационные каналы 6. За счет

конструктивных особенностей сепарационного устройства и геометрического расположения отверстий 3 и 4 при прохождении потока с частицами через них в сепарационных каналах 6 образуется множество маленьких завихрений по всей высоте устройства. Ключевыми отверстиями для образования завихрений в сепарационных каналах 6 являются большие 3: при выходе струйки воздуха из каждого отверстия она распадается на 2 составляющие, инерционно двигающиеся в разные стороны – левую и правую, образуя завихрения. Малые отверстия 4 предназначены для добавочного эффекта вращения вихрей, т.к. в угловых зонах вихри в большей степени подвержены разрушению. Каждый вихрь имеет точки соприкосновения с соседними вихрями, в которых векторы скорости сонаправлены, что дает эффект взаимоподдержания вихревой структуры. Вследствие того, что вихри имеют малый радиус, создаются центробежные силы высоких значений, позволяющие осуществлять сепарацию мелкодисперсных частиц из загрязненного потока воздуха, под действием которых частицы выбиваются в направлении стенок мультивихревого сепаратора. При контакте частиц со стенками они к ним прилипают. Конструкция мультивихревого сепаратора защищена патентом РФ [12] и предполагает несколько вариантов компоновки: 1) очищенный поток воздуха выходит через сепарационные каналы 6 (рис. 1, б) и 2) очищенный поток воздуха выходит через круглые выходные отверстия 9 крышки 8 (рис. 1, в).

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью является экспериментальное определение гидравлического сопротивления мультивихревого сепаратора. В непосредственные задачи входит анализ влияния конструктивного оформления мультивихревого сепаратора на его гидравлическое сопротивление. В первом варианте исследований очищенный поток воздуха выходит непосредственно через сепарационные каналы 6 (рис. 1, б). Во втором варианте – крышки 7 вынимаются из элементов квадратной формы 5 и устанавливается крышка с круглыми отверстиями 8, которая, в свою очередь, является дном квадратных элементов 5. За счет имеющихся выходных отверстий 9 формируется более устойчивая вихревая структура в сепарационных каналах 6 (рис. 1, в).

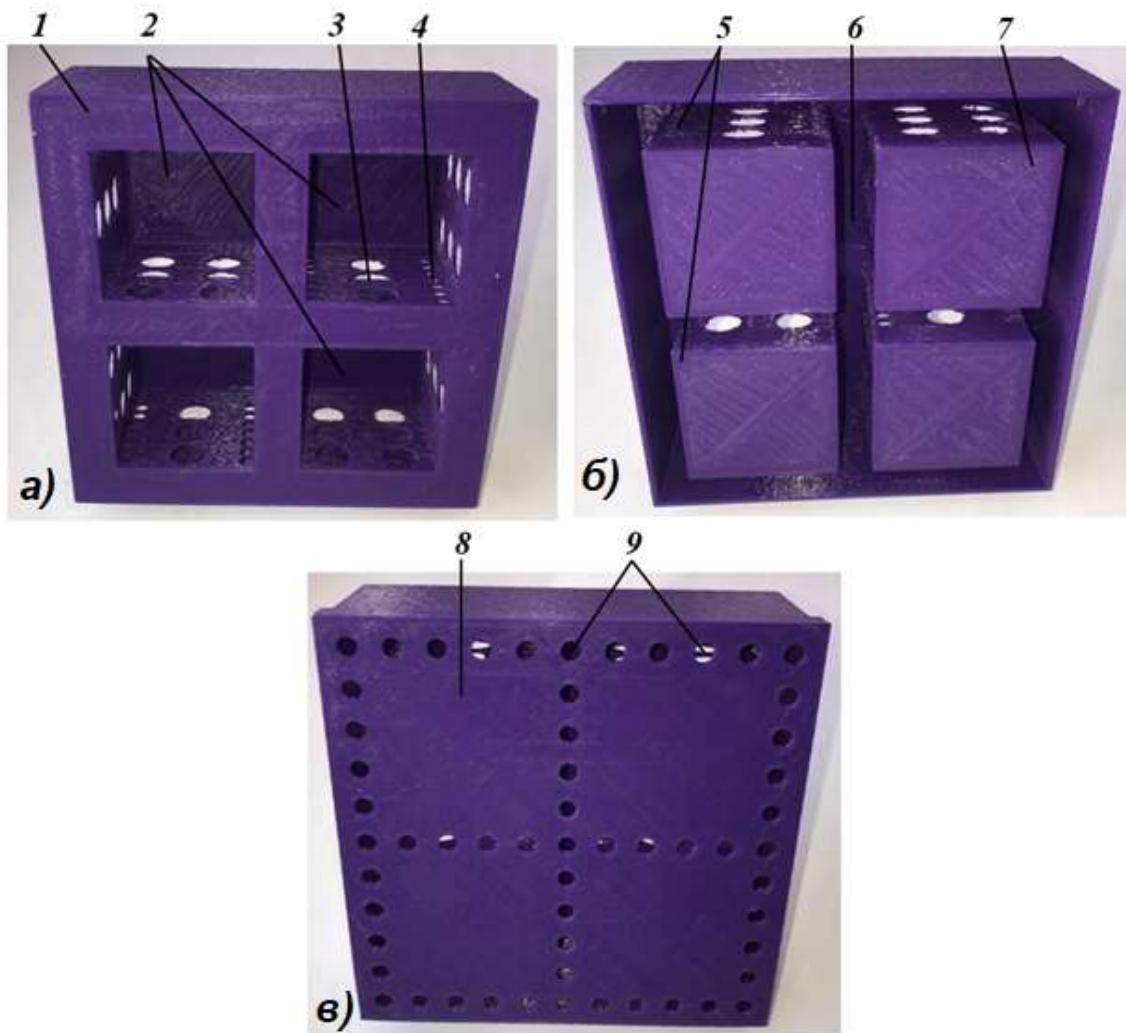


Рисунок 1 – Мультивихревой сепаратор с элементами квадратной формы
 (а – вид спереди; б, в – вид сзади): 1 – корпус; 2 – входные отверстия в устройстве; 3 – большие круглые отверстия; 4 – малые круглые отверстия; 5 – элементы квадратной формы; 6 – сепарационные каналы; 7 – крышки элементов квадратной формы; 8 – крышка с круглыми отверстиями; 9 – круглые отверстия в крышке; б – первый вариант компоновки устройства; в – второй вариант компоновки устройства

Figure 1 - A multi-vortex separator with square-shaped elements (a - frontview; b, c - rearview):
 1 - casing; 2 - inlet holes in the device; 3 - large round holes; 4 - small round holes; 5 - square-shaped elements; 6 - separation channels; 7 - covers of square-shaped elements; 8 - cover with round holes; 9 - round holes in the cover; b - first arrangement of the device; c - second arrangement of the device

МЕТОДЫ

Проведение исследований по определению гидравлического сопротивления мультивихревого сепаратора осуществлялось на экспериментальной установке (рис. 2). Необходимо отметить, что экспериментальная установка поэлементно была распечатана на 3D принтере из PLA пластика. Основными элементами установки являются воздуходувка 1, ресивер 2, труба Вентури 3 и мультивихревой сепаратор 4. Для измерения перепада давления в трубе Вентури 3 применялся

дифференциальный манометр 5. Определение гидравлического сопротивления мультивихревого сепаратора осуществлялось дифференциальным манометром 6. В качестве измерительных устройств использовались сертифицированные дифференциальные манометры testo 510i. Их погрешность составляет ± 5 Па при измерении давления в диапазоне от 0 до 100 Па и $\pm (2 \text{ Па} + 1,5\% \text{ от измеренного значения})$ при измерении давления в диапазоне от 100 до 15000 Па. Ресивер 2 представлял собой участок прямого

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА

угольного сечения с двумя закрытыми отверстиями на каждой стороне. В ходе проведения исследований каждое из восьми отверстий поэтапно открывалось для сброса воздуха, т.е. снижения расхода воздуха в установке и получения более обширной экспериментальной выборки данных. Труба Вентури 3 создавалась по ГОСТу 8.586.4-2005 ГСИ. «Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств» [13]. Ее предназначение в экспериментальной установке – создание перепада давления в широкой и узкой частях, которое фиксировалось дифференциальным манометром 5, что позволяло по формуле (1) рассчитать среднерасходную скорость воздуха [14].

Формула для определения среднерасходной скорости воздуха W_1 , м/с через широкую часть трубы Вентури:

$$W_1 = \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[\left(\frac{F_1}{F_2} \right)^2 - 1 \right]}, \quad (1)$$

где p_1 – статическое давление в широкой части трубы Вентури, Па; p_2 – статическое дав-

ление в узкой части трубы Вентури, Па; ρ – плотность воздуха, кг/м³; F_1 и F_2 – площадь широкой и узкой части трубы Вентури соответственно, м².

Последовательность проведения исследований на экспериментальной установке следующая. Поток воздуха подавался в экспериментальную установку воздуходувкой 1. Далее он проходил через ресивер 2, имеющий восемь закрытых отверстий с возможностью их открывания с целью снижения скорости воздуха на входе в мультивихревой сепаратор 4. После ресивера 2 воздух проходит через трубу Вентури 3, которая создает перепад давления, что впоследствии позволяет с помощью расчетных формул вычислить среднерасходную скорость текучей среды в экспериментальной установке. Для точного измерения статического давления в широкой и узкой частях трубы Вентури 3 были созданы кольцевые камеры, имеющие снизу и сверху отверстия для отбора давления. При необходимости одно из отверстий закрывалось. С помощью дифференциального манометра 5 измерялся перепад давлений в трубе Вентури 3 (разница статических давлений между широкой и узкой частями).

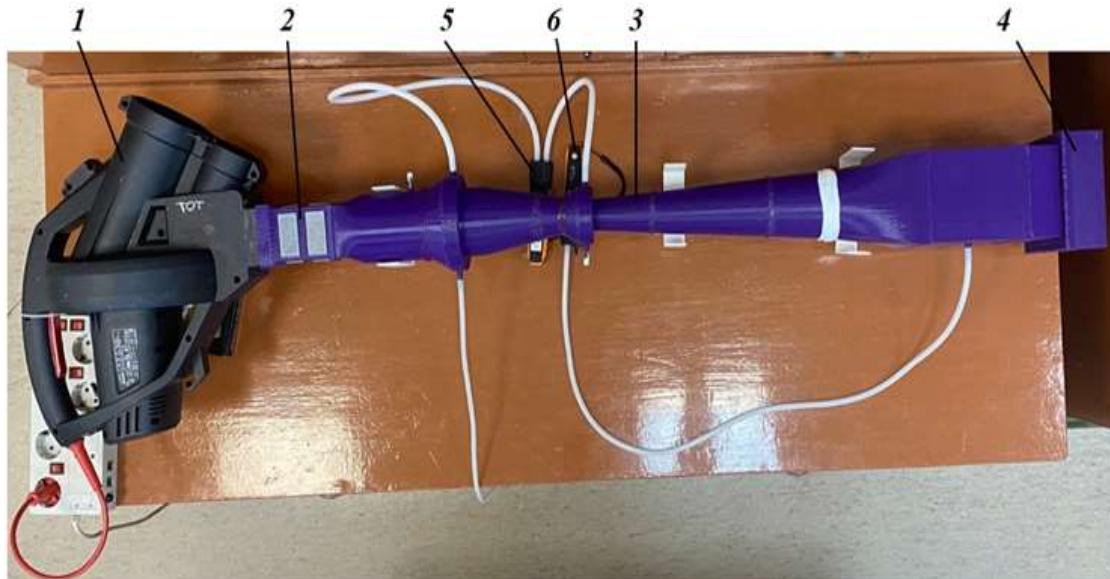


Рисунок 2 – Экспериментальная установка по определению гидравлического сопротивления мультивихревого сепаратора: 1 – воздуходувка; 2 – ресивер; 3 – труба Вентури; 4 – мультивихревой сепаратор; 5 – дифференциальный манометр для определения перепада давления в трубе Вентури; 6 – дифференциальный манометр для определения потери давления в мультивихревом сепараторе

Figure 2 - Experimental installation for determining the hydraulic resistance of a multi-vortexseparator:
 1 - blower; 2 - receiver; 3 - Vent pipe; 4 - multi-vortex separator; 5 - differential pressure gauge for determining the pressure drop in the vent pipe; 6 - differential pressure gauge for determining the pressure loss in the multi-vortex separator

Также была возможность измерить суммарные потери давления в трубе Вентури 3 и мультивихревом сепараторе 4 при подключении дифференциального манометра только к одному отверстию для отбора давлений кольцевой камеры в широкой части трубы Вентури 3. После этого воздух проходил через переходник кругло-прямоугольного сечения и поступал в мультивихревой сепаратор 4. Измерение потери давления в сепараторе осуществлялось непосредственно перед ним дифференциальным манометром 6 (рис. 2) [15].

Размеры экспериментальной установки следующие (рис. 2): общая длина установки 1100 мм, длина ресивера 96 мм, длина трубы Вентури 550 мм, радиус широкой и узкой части трубы Вентури 40 и 18 мм соответственно. Ресивер имеет в сечении прямоугольник размером 58×69 мм, с восьмью отверстиями, проделанными в ресивере, каждое размером 22×48 мм. Размеры корпуса мультивихревого сепаратора 134×49×134 мм (высота-ширина-длина), размер элементов квадратной формы 45×45 мм, толщина стенок 1,2 мм, диаметр больших и малых круглых отверстий в элементах квадратной формы 12 и 6 мм соответственно, диаметр отверстий в дополнительной крышке сепаратора 3 мм (рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение скорости воздуха W на входе в мультивихревой сепаратор осуществлялось расчетным путем. Согласно уравнению сплошности среды расход воздуха в установке остается постоянным:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \mathbf{W}) = 0, \quad (2)$$

где t – время, с.

При условии, что процесс стационарный, т.е. первое слагаемое в уравнении (2) равно 0, и допущении, что плотность воздуха ρ остается постоянной, получим равенство объемных расходов в широком сечении трубы Вентури и в сечении перед входом в мультивихревой сепаратор, где установлен патрубок для измерения давления, (рис. 2):

$$W_1 F_1 = W F, \quad (3)$$

где F – площадь поперечного квадратного сечения перед входом в сепаратор, м^2 .

Подставив в уравнение (3) скорость W_1 , рассчитанную по уравнению (1), и формулы для определения площадей круга и квадрата, получим выражение для определения скорости воздуха на входе в мультивихревой сепаратор W , $\text{м}/\text{с}$:

$$W = \frac{\pi d_1^2}{4} \frac{1}{b^2} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[\left(\frac{F_1}{F_2} \right)^2 - 1 \right]}}, \quad (4)$$

где d_1 – диаметр широкой части трубы Вентури, м ; b – размер стороны квадратного сечения экспериментальной установки в локальном месте, где установлен патрубок для измерения статического давления перед мультивихревым сепаратором, м .

Результаты исследований показали, что гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора зависит как от конструктивных особенностей устройства, так и от устойчивости вихревой структуры. При первом варианте компоновки конструкции (рис. 1, б) гидравлическое сопротивление существенно меньше, чем при втором варианте изготовления устройства (рис. 1, в) в среднем в 9–30 раз при скорости воздуха на входе в устройство от 1,4 до 4,9 $\text{м}/\text{с}$.

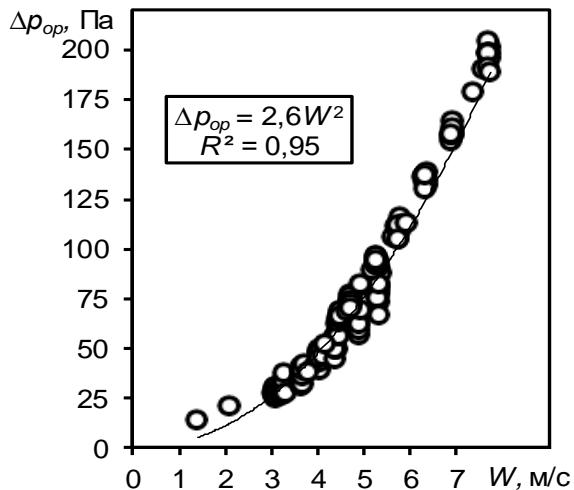


Рисунок 3 – Зависимость потери давления Δp_{op} в мультивихревом сепараторе при первом варианте конструктивного оформления устройства с открытыми сепарационными каналами от скорости воздуха W на входе в устройство

Figure 3 - The dependence of the pressure loss in a multi-vortex separator with open separation channels Δp_{op} on the air velocity W at the inlet to the device

С другой стороны, полученные значения среднеквадратических отклонений для обоих случаев (рис. 3 и 4) и анализ разброса экспериментальных точек, например, представленных на рисунке 3, показывает, что при первом конструктивном оформлении мультивихревого сепаратора вихревая структура может быть нестабильной. Вероятнее всего

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА

это вызвано тем, что в некоторых локальных областях при выходе струй воздуха из круглых щелей, проделанных в стенках элементов квадратной формы сепаратора, образующиеся вихри разрушаются, создавая хаотичный поток на определенной высоте сепарационных каналов. Данное явление носит нестабильный характер, т.к. одной скорости могут соответствовать несколько значений потери давления в мультивихревом сепараторе Δp_{op} . При этом среднеквадратическое отклонение R составляет 0,95 (рис. 3).

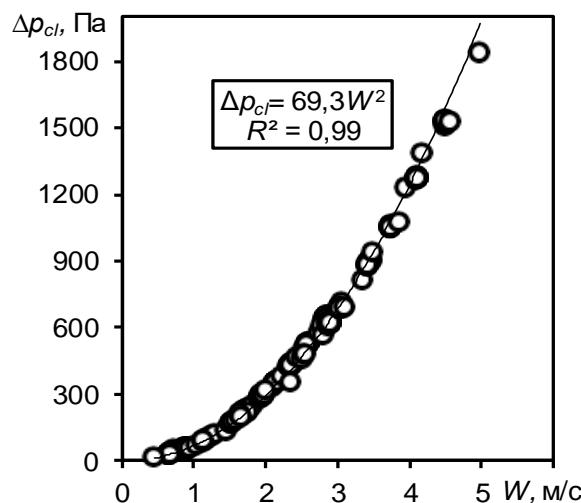


Рисунок 4 – Зависимость потери давления Δp_{cl} в мультивихревом сепараторе при втором варианте конструктивного оформления (с крышкой с отверстиями для выхода воздуха) от скорости воздуха W на входе в устройство

Figure 4 -The dependence of the pressure loss in a multi-vortex separator with an installed cover, in which holes are made for the outlet of the air flow, Δp_{cl} on the gas velocity W at the inlet to the device

При втором варианте конструктивного оформления мультивихревого сепаратора среднеквадратическое отклонение R составляет 0,99 (рис. 4). Полученная степенная зависимость с высокой точностью описывает значения экспериментальных точек, что указывает на отсутствие значимых хаотичных колебаний потока в сепарационных каналах. Иными словами, установка крышки 8 (рис. 1, в) с проделанными в ней отверстиями для выхода воздуха способствует формированию устойчивой вихревой структуры в сепарационных каналах мультивихревого сепаратора.

В ходе исследований установлено, что гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора с открытыми сепарационными каналами Δp_{op} составляет 14 до 204 Па

при скорости воздуха на входе в устройство от 1,4 до 7,7 м/с (рис. 3). Также получена зависимость потери давления Δp_{op} в сепараторе от входной скорости воздуха W для данного варианта компоновки устройства:

$$\Delta p_{op} = 2,6W^2. \quad (5)$$

Гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора с установленной крышкой Δp_{cl} , в которой проделаны отверстия для выхода потока воздуха составляет от 42 до 1833 Па при скорости воздуха на входе в устройство от 0,8 до 4,9 м/с (рис. 4). Для второго варианта компоновки устройства получена степенная зависимость потери давления Δp_{cl} в мультивихревом сепараторе от входной скорости воздуха W :

$$\Delta p_{cl} = 69,3W^2. \quad (6)$$

Таким образом, проведенные исследования показали, что усложнение конструкции мультивихревого сепаратора приводит к увеличению гидравлического сопротивления устройства. Однако создание строго расположенных выходных отверстий 9 в определенных местах крышки 8 (рис. 1, в) позволяет предотвращать разрушение вихревой структуры в сепарационных каналах, которая прежде происходила вследствие хаотичного выхода потока воздуха из устройства при открытых сепарационных каналах (рис. 1, б). Необходимо отметить, что важной составляющей принятия той или иной конструкции устройства является его эффективность. Вероятнее всего, при втором варианте конструктивного оформления устройства (рис. 1, в) эффективность мультивихревого сепаратора будет выше относительно первого варианта (рис. 1, б), т.к. при устойчивой вихревой структуре создается центробежное поле более высоких значений и снижается вероятность повторного подхватывания частиц хаотичным восходящим потоком при их сепарации. В данной работе сепарация частиц из загрязненного потока не исследовалась, т.к. экспериментально определить эффективность улавливания мелкодисперсных частиц затруднительно.

ВЫВОДЫ

1. Гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора с открытыми сепарационными каналами Δp_{op} составляет 14 до 204 Па при скорости воздуха на входе в устройство от 1,4 до 7,7 м/с.

2. Гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора с установленной крышкой Δp_{cl} , в которой проделаны отверстия для выхода потока, составляет от 42 до

1833 Па при его скорости на входе в устройство от 0,8 до 4,9 м/с.

3. Усложнение конструкции приводит к увеличению гидравлического сопротивления и, вероятнее всего, повышению эффективности, вследствие формирования более устойчивой вихревой структуры.

4. Для оценки текущего состояния мультивихревого сепарационного устройства необходимо производить контроль скорости потока воздуха в окрасочной камере.

В последующих исследованиях планируется создание трехмерной модели мультивихревого сепаратора и проведение верификации численного моделирования и результатов физического эксперимента, представленных в данной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bennett A. Automotive: Innovative filtration applications in the auto industry // *Filtr. Sep.* 2010. V. 47 № 1. P. 28–31. DOI 10.1016/S0015-1882(10)70035-5.

2. Research progress in treatment technology for exhaust gas from spray paint process / N. Sheng [et al.] // *Chem. Indust. Eng. Prog.* 2017. V. 36. № 4. P. 1434–1447.

3. Anand S., Howarth J. Automotive finishing: Improving filtration in the automotive paint shop // *Filtr. Sep.* 2013. V. 50. № 1. P. 22–26. DOI 10.1016/S0015-1882(13)70032-6.

4. Mohan B.R., Jain R.K., Meikap B.C. Comprehensive analysis for prediction of dust removal efficiency using twin-fluid atomization in a spray scrubber // *Sep. Purif. Technol.* 2008. V. 63. № 2. P. 269–277. DOI 10.1016/j.seppur.2008.05.006.

5. Experimental study on the synergistic removal of fine particles by wet flue gas desulfurization tower with a flow pattern control device / Z. Chen [et al.] // *Powder Technol.* 2019. V. 343. P. 122–128. DOI 10.1016/j.powtec.2018.11.017.

6. Effect of particle hydrophilicity on the separation performance of a novel cyclone / Y. Zhang [et al.] // *Sep. Purif. Technol.* 2020. V. 237. P. 116315. DOI 10.1016/j.seppur.2019.116315.

7. Папко Ю.О. Способы очистки воздуха в окрасочных камерах // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2017. Т. 2. С. 373–381.

8. Гавриленков А.М., Бредихин Л.С., Сафаралиев Р.Р. Совершенствование конструкции узла очистки воздуха, удаляемого из окрасочной камеры // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. № 1–1 (6). С. 76–78.

9. Фаскиев Р.С. Мониторинг режимов вентиляции окрасочно-сушильных камер для ремонтной окраски автомобилей // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. Т. 171. № 10. С. 206–212.

10. Определение расчетной скорости газово-

го потока в фильтрах грубой и тонкой очистки при различной степени загрязненности в окрасочных камерах / В.Э. Зинуров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 5. С. 3–12. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-5-3-12.

11. Separation of Fine Particles from Gas in Paint-Spraying Booths / R.Y. Bikkulov [et al.] // MATEC Web of Conferences. 2021. V. 346. P. 03070. DOI 10.1051/matecconf/202134603070.

12. Мультивихревой сепаратор для очистки газов: пат. 208304 Рос. Федерация № 2021120725 / И.Н. Мадышев [и др.]; заявл. 14.07.2021; опубл. 13.12.2021, Бюл. № 35.

13. ГОСТ 8.586.4-2005. ГСИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Трубы Вентури. Дата введения 2007-01-01. Москва : Стандартинформ.

14. Численное и экспериментальное исследование сужающего устройства на основе трубы Вентури / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25. № 7. С. 106–111. DOI 10.55421/1998-7072_2022_25_7_106.

15. Экспериментальное определение гидравлического сопротивления упрощенной модели мультивихревого классификатора с соосно расположеннымными трубами / В.Э. Зинуров [и др.] // Ползуновский вестник. 2022. № 2. С. 108–116. DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.015.

Информация об авторах

В. Э. Зинуров – ассистент кафедры «Теоретические основы теплотехники» Казанского государственного энергетического университета.

Р. Я. Биккулов – ассистент кафедры «Теоретические основы теплотехники» Казанского государственного энергетического университета.

О. С. Дмитриева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование пищевых производств» Казанского национального исследовательского технологического университета.

И. Н. Мадышев – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Оборудование пищевых производств» Казанского национального исследовательского технологического университета.

А. А. Абдуллина – студент кафедры «Экономика и организация производства» Казанского государственного энергетического университета.

REFERENCES

1. Bennett, A. (2010). Automotive: Innovative filtration applications in the auto industry. *Filtr. Sep.*, 47(1), 28–31. DOI 10.1016/S0015-1882(10)70035-5.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА

2. Sheng, N., Weizhou, H.S., Chen, M.G., Sun, Y.M. & Han, X. (2017). Research progress in treatment technology for exhaust gas from spray paint process. *Chem. Indust. Eng. Prog.*, 36(4), 1434-1447.
3. Anand, S. & Howarth, J. (2013). Automotive finishing: Improving filtration in the automotive paint shop. *Filtr. Sep.*, 50(1), 22-26. DOI 10.1016/S0015-1882(13)70032-6.
4. Mohan, B.R., Jain, R.K. & Meikap, B.C. (2008). Comprehensive analysis for prediction of dust removal efficiency using twin-fluid atomization in a spray scrubber. *Sep. Purif. Technol.*, 63(2), 269-277. DOI 10.1016/j.seppur.2008.05.006.
5. Chen, Z., You, C., Wang, H. & Liu, Q. (2019). Experimental study on the synergistic removal of fine particles by wet flue gas desulfurization tower with a flow pattern control device. *Powder Technol.*, 343, 122-128. DOI 10.1016/j.powtec.2018.11.017.
6. Zhang, Y., Jiang, Y., Xin, R., Yu, G., Jin, R., Dong, K. & Wang, B. (2020). Effect of particle hydrophilicity on the separation performance of a novel cyclone. *Sep. Purif. Technol.*, 237, 116315. DOI 10.1016/j.seppur.2019.116315
7. Papko, Yu.O. (2017). Ways to clean air in spray cabinets. *Modern technologies in construction. Theory and practice*, 2, 373-381. (In Russ.).
8. Gavrilenkova, A.M., Bredikhin, L.S. & Safaraliev, R.R. (2015). Improving the design of the air purification unit removed from the spray booth. *Modern technologies for civil defense and emergency response*, 6(1-1), 76-78. (In Russ.).
9. Faskiev, R.S. (2014). Monitoring of ventilation modes of painting and drying chambers for repair painting of cars. *Bulletin of the Orenburg State University*, 171(10), 206-212. (In Russ.).
10. Zinurov, V.E., Bikkulov, R.Ya., Dmitriev, A.V., Dmitrieva, O.S. & Nikolaev, A.N. (2022). Determination of the design velocity of the gas flow in coarse and fine filters with varying degrees of contamination in the paint booths. *News of higher educational institutions. Energy problems*. 2022. T. 24. № 5. C. 3-12. (In Russ.). DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-5-3-12.
11. Bikkulov, R.Y., Dmitriev, A.V., Zinurov, V.E. & Badretdinova, G.R. (2021). Separation of Fine Particles from Gas in Paint-Spraying Booths. *MATEC Web of Conferences*, 346, 03070. DOI 10.1051/matecconf/202134603070.
12. Madyshev, I.N., Dmitriev, A.V., Dmitrieva, O.S., Kharkov, V.V. & Zinurov, V.E. (2021). Multivortex separator for gas cleaning. *Pat. 208304. Russian Federation, published on 13.12.2021. Bull. No. 35. (In Russ.).*
13. State system for ensuring the uniformity of measurements. Measurements of liquids and gases flow rate and quantity by means of orifice instruments. Part 4. Venturi tubes. Technical requirements (2007). HOST 8.586.4-2005 from 1 Jan. 2007. Moscow : Standartinform. (In Russ.).
14. Zinurov, V.E., Nasyrova, I.I., V'yugova, K.D. & Madyshev, I.N. (2022). Numerical and experimental study of a narrowing device based on a Venturi tube. *Bulletin of the Technological University*, 25(7), 106-111. (In Russ.). DOI 10.55421/1998-7072_2022_25_7_106.
15. Zinurov, V.E., Madyshev, I.N., Kayumova, A.A. & Moiseeva, K.S. (2022). Experimental determination of hydraulic resistance of a simplified model of a multi vortex classifier with coaxially arranged pipes. *Polzunovskiy vestnik*, 2, 108-116. (In Russ.). DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.015.

Information about the authors

V.E. Zinurov - assistant of the Department "Theoretical foundations of heat engineering" of Kazan State Power Engineering University.

R.Ya. Bikkulov - assistant of the Department "Theoretical foundations of heat engineering" of Kazan State Power Engineering University.

O.S. Dmitrieva - candidate of technical Sciences, Assistant Professor of the Department "Equipment for food industry" of Kazan National Research Technological University.

I.N. Madyshev - candidate of technical Sciences, senior researcher of the Department "Equipment for food industry" of Kazan National Research Technological University.

A.A. Abdullina - student of the Department "Economics and organization of production" of 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 17.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 17 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



Научная статья

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 66.081.6+628.165

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.025

EDN: FVUARK

ОБЕССОЛИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Лариса Федоровна Комарова ¹, Владимир Александрович Сомин ²,
Дмитрий Алексеевич Лапшин ³

^{1, 2, 3} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729>

² vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

³ enlang@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается получение воды питьевого качества с использованием мембранных методов. Приводится анализ мембранных методов обессоливания подземных и поверхностных природных вод с использованием нанофильтрации обратного осмоса. Рассматриваются пути оптимизации мембранных разделения водных растворов, в том числе с использованием нанофильтрации. Охарактеризованы мембранные аппараты для указанных целей. Приводится опыт эксплуатации мембранных установок в различных природных условиях. Разработана технологическая схема водоподготовки с использованием нанофильтрационной установки для одного из населенных пунктов Кулундинского района Алтайского края. Схема предполагает предварительное обезжелезивание кислородом воздуха в накопительной аэрируемой емкости, фильтрование через фильтр с зернистой загрузкой для удаления гидроксида железа. В дальнейшем вода нагревается в кожухотрубчатом теплообменнике 8 до 25 °C для снижения вязкости, от которой напрямую зависит проницаемость мембранны. После этого дозируется антискалат для предотвращения деструкции мембранны и подается на установку нанофильтрации. Нанофильтрация выбрана из-за невысокой концентрации примесей и соответственно малого осмотического давления исходного раствора, что позволяет снизить потребность в энергоресурсах. Часть концентраты циркулирует в мембранным модуле, позволяя увеличить выход пермеата, другая часть возвращается в недра. На заключительном этапе осуществляется обеззараживание воды ультрафиолетом, после чего она может подаваться в сеть для снабжения потребителей. Предложенная схема позволит очищать воду до нормативов СанПиН 1.2.3685-21 и обеспечить население питьевой водой с требуемым расходом 1500 м³/сум.

Ключевые слова: природные воды Алтайского края, методы обессоливания минерализованных вод, мембранные методы, схемы водоподготовки.

Для цитирования: Комарова Л. Ф., Сомин В. А., Лапшин Д. А. Обессоливание подземных вод с использованием мембранных технологий // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 200–206. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.025. EDN: <https://elibrary.ru/FVUARK>.

Original article

DESALINATION OF GROUNDWATER USING MEMBRANE TECHNOLOGIES

Larisa F. Komarova ¹, Vladimir A. Somin ², Dmitry A. Lapshin ³

^{1, 2, 3} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729>

² vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

³ enlang@mail.ru

Abstract. The paper considers the production of drinking-quality water using membran methods. The analysis of membrane methods of desalination of underground and surface natural waters using nanofiltration and reverse osmosis is given. The ways of optimizing the membrane separation of aqueous solutions, including the use of nanofiltration, are considered. Membranes and membrane apparatuses for the specified purposes are characterized. The experience of operating membrane installations in various natural conditions is given. A technological scheme of water treatment using a nanofiltration plant has been developed for one of the settlements of the Kulundinsky district of the Altai Territory. The scheme involves preliminary de-ironing with oxygen of the air in a storage aerated tank, filtering through a filter with a granular loading to remove iron hydroxide. In the future, the water is heated in a shell-and-tube heat exchanger 8 to 25 °C to reduce the viscosity, which directly affects the permeability of the membrane. After that, an antiscalant is then dosed to prevent the destruction of the membrane and is given to the nanofiltration unit. Nanofiltration was chosen because of the low concentration of impurities and, accordingly, the low osmotic pressure of the initial solution, which reduces the need for energy resources. Part of the concentrate circulates in the membrane module, allowing to increase the permeate yield, the other part returns to the bowels. At the final stage, the water is disinfected with ultraviolet light, after which it can be supplied to the network to supply consumers. The proposed scheme will allow to purify water up to the standards of SanPiN 1.2.3685-21 and provide the population with drinking water with the required flow rate of 1500 m³/day.

Keywords: natural waters of the Altai Territory, methods of desalination of mineralized waters, membrane methods, water treatment schemes.

For citation: Komarova, L.F., Somin, V.A. & Lapshin, D.A. (2023). Desalination of groundwater using membrane technologies. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 200-206. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.025. EDN: <https://elibrary.ru/FVUARK>.

ВВЕДЕНИЕ

Водные ресурсы являются неотъемлемой частью жизнедеятельности человека. Для водоснабжения используются поверхностные и подземные источники, которые должны быть доведены до категории пресных вод, т.е. их минерализация не должна быть более 1 г/л.

В степных районах Алтайского края существует проблема качественного водоснабжения населения. В западной части края отсутствуют реки, но имеется множество соленых озер. Поверхностные воды характеризуются изменчивой минерализацией (сульфатное и хлоридное засоление). Вблизи озер залегают грунтовые воды на глубине от 0,5–1,0 м до 10,0–15,0 м при приближении к водоразделам [1].

Источником хозяйственного водоснабжения рассматриваемого региона являются

подземные воды, которые характеризуются как надежно защищенные от загрязнения и обеспеченные ресурсами [2]. Однако, оценивая их качество, можно отметить, что по ряду показателей, прежде всего минерализации до 2–5 г/л, они не соответствуют требованиям к воде для питьевых целей и орошения [3].

Такие воды требуют обессоливания, в качестве которого могут быть использованы различные методы: ионный обмен, дистилляция, электродиализ, мембранные процессы. Но для водоподготовки применение того или иного метода может ограничиваться его целесообразностью. Наиболее перспективными являются мембранные, отличающиеся универсальностью, низкими эксплуатационными затратами и простотой конструкции аппаратов [4].

Мембранные методы представляют собой процесс разделения растворов на полу-

проницаемой мембране, представляющей собой селективно проницаемый барьер, задерживающий примеси определенных размеров различной природы. Движущей силой мембранных процессов является разность рабочего давления над исходным раствором и его осмотического давления.

Из мембранных методов орошения природных вод используются нанофильтрация (НФ) и обратный осмос (ОО), которыми удаляют из воды растворенные соли с размером частиц от 0,01 до 0,0001 мкм. Оба баромембранных процесса близки по механизму разделения, схеме организации, типам мембран и применяемому оборудованию. Обратный осмос осуществляется при высоких входных давлениях (до 8–15 МПа) для орошения высококонцентрированных, например, морских вод. Низконапорные энергосберегающие процессы обессоливания воды с рабочим давлением от 0,3 до 2 МПа (нанофильтрация) стали возможными с появлением новых типов композитных мембран [4].

Эффективность процессов ОО и НФ в значительной степени определяется свойствами применяемых мембран. Современные обратноосмотические и нанофильтрационные мембранные являются анизотропными на основе ацетатов целлюлозы или полиамида, либо композитными с разделительным слоем из полиамида, нанесенным на подложку из полисульфона.

Оптимизация баромембранного разделения заключается в рециркуляции одного из мембранных потоков (чаще концентрата); применении каскадных схем, где модули объединяются общими коллекторами по исходной воде, пермеату и концентратору (каскад), либо только общим по пермеату (степень). Снижение явления концентрационной поляризации может быть достигнуто за счет использования антискалантов [5].

При эксплуатации подземных источников в процессе водоподготовки мембранными методами возникает проблема сброса концентрата, которая заключается в обратной закачке минерализованных вод в недра. Она может быть осуществлена путем закачки концентрата на отделенный от добывающего водоносного горизонта с некондиционными подземными водами, возвратом концентрата в скважины более глубокого водоносного горизонта с худшим качеством подземных вод, либо возвратом концентрата в тот же горизонт, из которого производилась добыча подземных вод, но на некотором удалении от добывающих скважин [6].

Имеется много примеров водоподготовки с использованием нанофильтрации. Например, для водоснабжения котельной и получения воды на хозяйственные нужды из артезианской скважины в г. Владивостоке требовалось снизить содержание в воде железа, кремния, марганца, избавиться от мутности, умягчить и дезинфицировать воду. Для этого была предложена схема, включающая ряд механических, химических и физико-химических методов, в том числе нанофильтрацию [7].

Первым этапом водоподготовки является фильтрация на сетчатом фильтре ФС, где удаляются частицы размером более 400 мкм. Для окисления растворенных в воде железа и марганца в воду компрессором нагнетается воздух, вода предварительно подщелачивается гидроксидом натрия до pH = 8,3–8,5 с целью создания условий для перевода вышеуказанных ионов металлов в нерастворимое состояние. Обезжелезивание и деманганизация происходит на фильтрах ФОД 1 и ФОД 2, после чего вода обеззараживается на ультрафиолетовом стерилизаторе УФЛ и проходит барьерные фильтры тонкой механической очистки. Перед подачей воды на мембранный нанофильтр в нее дозируется антискалант с целью уменьшения концентрационной поляризации на поверхности мембранны. Используется композитная полиамидная мембрана в элементе рулонного типа ХЛЕ-440. Рабочее давление процесса 0,7 МПа при максимальном содержании солей до 1000 мг/л и рабочей температуре от 5 °C до 45 °C [7].

В предложенном технологическом решении мембранный процесс реализован в виде трехступенчатой каскадной схемы [7]. Концентрат первой ступени является питающим потоком для второй, концентрат которой, в свою очередь, для третьей. После третьей ступени часть концентрата отправляется на сброс, другая – циркулирует в контуре для поддержания оптимальных гидродинамических условий потока. Фильтрат каждой ступени объединяется в один поток и направляется в накопительный бак. Применение разработанной схемы водоочистки на скважине в г. Владивостоке позволило снизить содержание примесей до требуемых показателей.

Аналогичная схема очистки подземной воды предложена в городском округе Армянска на Крымском полуострове [8].

Исходная вода подается из артезианских скважин Исходнинского водозабора и отличается высокой жесткостью и минерализацией. Перед поступлением воды на обратноосмо-

тическую установку она подогревается с целью уменьшения вязкости и снижения сопротивления при фильтровании через мембрану; концентрат направляется в глубоководный рассеивающий выпуск в Черное море.

Нанофильтрация используется также в водоподготовке подземных источников Московской области [9]. Водные ресурсы данных источников характеризуются повышенным содержанием железа, ионов жесткости, фторид-ионов, ионов аммония, нитратов, лития, стронция, мышьяка и бора. Первоначально для обработки воды был предложен обратный осмос. Однако смешение потоков пермеата и исходной воды, очищенной от механических примесей, и привело к обеспечению только половины выбранной производительности и снижению концентрации примесей. Последнее позволило применить вместо обратного осмоса нанофильтрацию. Нанофильтрационные установки по сравнению с обратноосмотическими отличаются более высокой надежностью в работе, меньшим потреблением электроэнергии из-за более низкого рабочего давления, малыми годовыми затратами по замене мембран [9].

Предложенная технологическая схема отличается использованием второй ступени нанофильтрации для обработки концентрата, что приводит к замедлению процесса осадкообразования на этой ступени. Пермеат второй сту-

пени по качеству приближается к исходной воде и может быть возвращен на вход в установку.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Кулундинский район Алтайского края характеризуется отсутствием пресных поверхностных источников. Поэтому для обеспечения населения питьевой водой приходится использовать подземные источники. Однако вода из них не соответствует требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Нормативы по железу превышены в 8 раз, по сухому остатку – в 1,2 раза.

Для орошения указанных вод разработана блок-схема водоподготовки для села Кучук Кулундинского района, приведенная на рисунке 1.

Вода из скважины накапливается в емкости 1, далее фильтруется на фильтре с зернистой загрузкой 2. Профильтрованная вода нагревается в теплообменнике 4 и направляется на обессоливание в нанофильтрационную установку 6. Пермеат накапливается в емкости 7, туда же добавляется фильтрат с установки 2 и гипохлорит натрия из емкости 8 для предварительного обеззараживания. Окончательное обеззараживание очищенной воды происходит ультрафиолетом, вода питьевого качества накапливается в емкости 10.

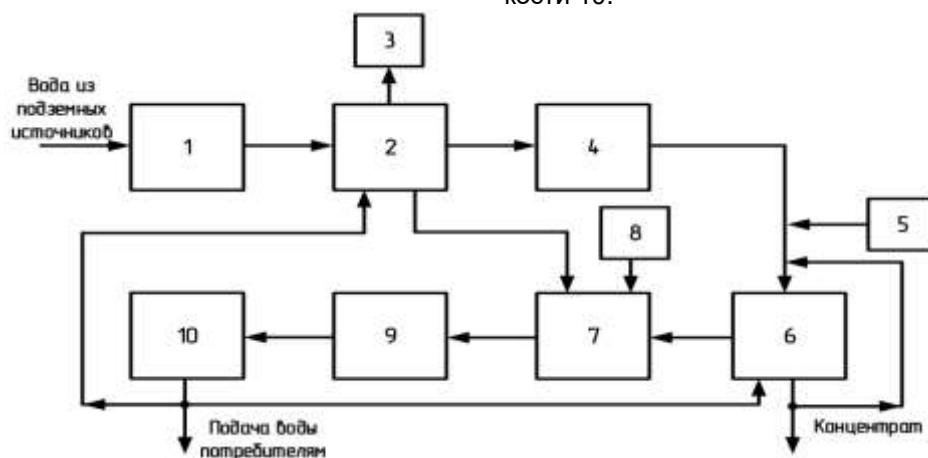


Рисунок 1 – Предлагаемая блок-схема водоподготовки:

1 – накопление и аэрация исходной воды; 2 – фильтрование на зернистой загрузке; 3 – накопление в емкости промывной воды; 4 – нагрев в теплообменнике; 5 – приготовление антискальанта; 6 – умягчение на нанофильтрационной установке; 7 – накопление и разбавление фильтрата; 8 – дозирование гипохлорита натрия; 9 – обеззараживание ультрафиолетом; 10 – накопление воды питьевого качества

Figure 1 - The proposed block diagram of water treatment:

1 - accumulation and aeration of the source water; 2 - filtration on granular loading; 3 - accumulation in the tank of washing water; 4 - heating in the heat exchanger; 5 - preparation of antiscalant; 6 - softening on the nanofiltration plant; 7 - accumulation and dilution of filtrate; 8 - dosing of sodium hypochlorite; 9 - disinfection with ultraviolet light; 10 - accumulation of drinking water

На основании разработанной блок-схемы предложена принципиальная схема

обессоливания подземных вод с использованием нанофильтрации (рисунок 2).

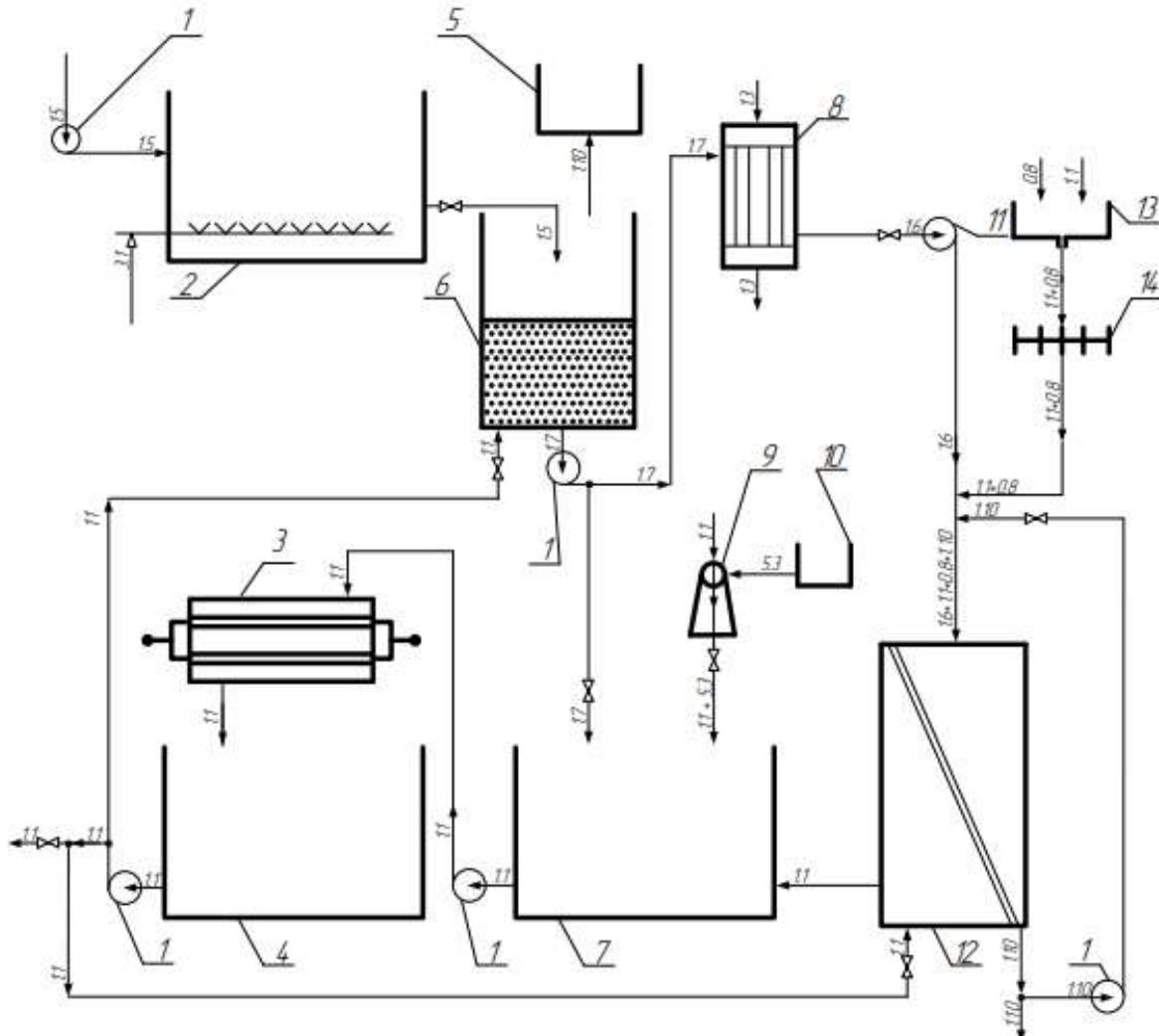


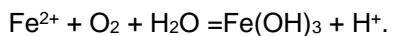
Рисунок 2 – Принципиальная схема водоподготовки с использованием нанофильтрации:

1 – насос; 2 – накопительная емкость аэрируемая; 3 – ультрафиолетовая установка; 4 – накопительная емкость питьевой воды; 5 – емкость промывной воды; 6 – фильтр гидростатический; 7 – смеситель; 8 – теплообменник; 9 – эжектор; 10 – емкость с гипохлоритом натрия; 11 – насос высокого давления; 12 – мембранные установки нанофильтрации; 13 – емкость бункерная; 14 – дозатор обозначения потоков: 08 – антискалант, 1.1 – вода питьевая, 1.3 – вода горячая, 1.5 – вода питательная, 1.6 – вода нагретая, 1.7 – вода фильтрованная, 1.10 – вода сточная, 3.1 – воздух атмосферный, 5.3 – гипохлорит натрия

Figure 2 - Schematic diagram of water treatment using nanofiltration:

1 - pump; 2 - aerated storage tank; 3 - ultraviolet installation; 4 - storage tank of drinking water; 5 - washing water tank; 6 - hydrostatic filter; 7 - mixer; 8 - heat exchanger; 9 - ejector; 10 - container with sodium hypochlorite; 11 - high-pressure pump pressure; 12 - membrane nanofiltration unit; 13 - bunker tank; 14 - flow dispenser; 08 - antiscalant, 1.1 - drinking water, 1.3 - hot water, 1.5 - nutrient water, 1.6 - heated water, 1.7 - filtered water, 1.10 - sewage water, 3.1 - atmospheric air, 5.3 - sodium hypochlorite

Первым этапом водоподготовки является обезжелезивание, которое осуществляется в накопительной аэрируемой емкости 2, двухвалентное железо в присутствии кислорода воздуха окисляется до трехвалентного:



Далее вода подается в гидростатический фильтр с зернистой загрузкой 6, где происходит осаждение $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Для фильтра выбрана загрузка Birm на основе алюмосиликата,

покрытого диоксидом марганца [10]. Данная загрузка отличается оптимальной скоростью фильтрации и хорошей каталитической активностью по отношению к железу и марганцу. Профильтрованная вода нагревается в кожухотрубчатом теплообменнике 8 до 25 °C для снижения вязкости, от которой напрямую зависит проницаемость мембраны.

Второй этап заключается в фильтровании воды на мембранный установке нанофильтрации 12. Предварительно в поток воды из бункерной емкости 13 дозатором 14 вводится антискалант, чтобы предотвратить деструкцию мембраны и не допустить снижение селективности. Для обессоливания выбран процесс нанофильтрации ввиду невысокой концентрации примесей, а следовательно, малого осмотического давления исходного раствора, что позволяет снизить потребность в энергоресурсах. Часть концентрата циркулирует в мембранным модуле, позволяя увеличить выход пермеата, другая часть возвращается в тот же горизонт, из которого производится добыча подземных вод, но на некотором удалении от добычной скважины.

Третий этап состоит в накоплении обессоленной воды в емкости 4 и ее обеззараживании. Пермеат из мембранный установки 12 подается в смеситель 7, куда эжектором 9 из емкости 10 дозируется раствор гипохлорита натрия для предварительного обеззараживания. Из фильтра 6 в тот же смеситель поступает вода для поддержания необходимого солевого состава.

Вода из емкости 7 подается на обеззараживание ультрафиолетом в установке 3. Обеззараженная вода собирается в накопительной емкости питьевой воды 4, часть из которой используется для промывки фильтра 6 и нанофильтрационной установки 12.

Для процесса нанофильтрации выбран мембранный модуль NE 8040-90 марки CSM [11] с композитной полиамидной мембраной. Производительность модуля 30,3 м³/сут., селективность по CaCl₂ составляет (90–97) %, что удовлетворяет требуемым условиям.

Необходимая производительность воды питьевого качества для населенного пункта на 5000 человек составит 1500 м³/сут. при норме водопотребления 300 л/сут. [12]. При средней производительности выбранной мембранны 3,75•10⁻³ кг/(м²) [10] число мембранных аппаратов составит 11, количество модулей в каждом аппарате 65.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технологическая схема водоподготовки с использованием нанофильтрационной установки для одного из населенных пунктов Кулундинского района Алтайского края. Предложенная схема позволит очищать воду до нормативов СанПиН 1.2.3685-21 и обеспечить население питьевой водой с требуемым расходом 1500 м³/сут.

Для процесса нанофильтрации выбран мембранный модуль NE 8040-90 марки CSM с композитной мембраной, который в количестве 11 аппаратов обеспечит необходимую производительность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кормаков В.И., Комарова Л.Ф. Водные ресурсы Алтайского края: использование, охрана. Монография. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. 164 с.
2. Борзилов О.С. Оценка ресурсов подземных вод для целей аграрно-индустриального развития Кулунды. Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2014. 184 с.
3. Заносова В.И., Молчанова Т.Я. Оценка качества подземных вод и степени их пригодности для орошения. Вестник АГАУ.2017, № 6 (152). С. 49–54.
4. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. М. : Изд-во ДeЛи плюс, 2013. 680 с.
5. Головесов В.А., Первов А.Г., Сухов Г.Д., Рудакова Г.Я. Влияние выбора антискаланта на величину эксплуатационных затрат для установок обратного осмоса. Вестник МГСУ, 2020, № 8. С. 1163–1174.
6. Боревский Г.В., Абрамов В.Ю., Вавичкин Л.Ю. Опытно-технологические исследования по водоподготовке некондиционных природных подземных вод // Разведка и охрана недр. №11, 2012. С. 26–31.
7. Кунденок С.Б., Попова Т.Ю., Медведь П.В. Индивидуальная технология водоподготовки артезианской воды со сложным составом примесей // Вестник ИШ ДВФУ, 2018. № 3 (36). С. 118–127.
8. Протасовский Е.М., Бубырев Д.И. Водопроводная очистная станция подземной воды города Армянск Республики Крым // Вода и экология: проблемы и решения, 2018. № 1 (73). С. 17–21.
9. Головесов В.А., Рудакова Г.Я., Первов А.Г., Спицов Д.В. Выбор мембран и сервисных реагентов для мембранных установок, применяемых для обработки подземных вод // Вестник МГСУ. 2020, 311. С. 1556–1569.
10. Birm [Электронный ресурс]: Aquasolution.ru. Современные технологии очистки воды. URL: <https://aqua-solution.ru/birm> (дата обращения 21.12.2022).
11. Мембрана CSM NE 8040-90[электронный ресурс]: оф. сайт Waterfilter URL: https://waterfilter.ru/catalog/membrany/membrana_CSM_ne_8040_90 (дата обращения 15.01.2022).

12. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник Т.1. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 884 с.

Информация об авторах

Л. Ф. Комарова – доктор технических наук, профессор кафедры химической техники и инженерной экологии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

В. А. Сомин – доктор технических наук, зав. кафедрой химической техники инженерной экологии института биотехнологий, пищевой и химической инженерии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Д. А. Лапшин – студент гр. 8ЭРПХ-01 Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Kormakov, V.I. & Komarova, L.F. (2007). Water resources of the Altai Territory: use, protection. Monograph. Barnaul: publishing house of AltSTU.(In Russ.).
2. Borzilov, O.S. (2014). Assessment of groundwater resources for the purposes of agro-industrial development of Kulunda. Dissertation for the degree of candidate of agricultural sciences. Barnaul: publishing house of AGAU. (In Russ.).
3. Zanosova, V.I. & Molchanova, T.Ya. (2017). Assessing the quality of groundwater and its suitability for irrigation. Vestnik AGAU., 6 (152). 49-54. (In Russ.).
4. Ryabchikov, B.E. (2013). Modern water treatment. M. : publishing house DeLi plus. (In Russ.).
5. Golovesov, V.A., Pervov, A.G., Sukhov, G.D. & Rudokova, G.Ya. (2020). Influence of the choice of antiscalant on the value of operating costs for reverse osmosis plants. Bulletin of MGSU. (8).1163-1174. (In Russ.).
6. Borevsky, G.V., Abramov, V.Yu. & Vav-

chkin, L.Yu. (2012). Experimental and technological research on water treatment of substandard natural groundwater. Exploration and protection of mineral resources. (11), 26-31. (In Russ.).

7. Kundenok, S.B., Popova, T.Yu. & Medved, P.V. (2018). Individual technology for water treatment of artesian water with a complex composition of impurities. Bulletin of the ISh FEFU. 3 (36). 118-127. (In Russ.).

8. Protasovsky, E.M. & Bubyrev, D.I. (2018). Groundwater treatment plant of the city of Armyansk of the Republic of Crimea. Water and ecology: problems and solutions. 1 (73). 17-21. (In Russ.).

9. Golovesov, V.A., Rudakova, G.Ya., Pervov, A.G. & Spitsov, D.V. (2020). The choice of membranes and service reagents for membrane plants used for groundwater treatment. Bulletin of MGSU. (311). 1556-1569. (In Russ.).

10. Birm: Aquasolution.ru. (2022). Modern water treatment technologies. Retrieved from <https://aqua-solution.ru/birm>. (In Russ.).

11. Membrane CSM NE 8040-90 off. (2022). Waterfilter website Retrieved from https://waterfilter.ru/catalog/membrany/membranaCSM_ne_8040_90. (In Russ.).

12. Timonin, A.S. (2003). Engineering and environmental reference book T.1. Kaluga: publishing house N. Bochkareva. (In Russ.).

Information about the authors

L.F. Komarova - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Engineering and Engineering Ecology of the Polzunov Altai State Technical University.

V.A. Somin - Doctor of Technical Sciences, Head. Department of Chemical Engineering of Engineering Ecology of the Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering of the Polzunov Altai State Technical University.

D.A. Lapshin - student gr. 8ERPH-01 of e Polzunov Altai State Technical University. th

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

Статья поступила в редакцию 17.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 17 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



Научная статья

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66.071.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.026

 EDN: UXUAJA

СТРУКТУРА ПОТОКА НЕСУЩЕЙ ФАЗЫ В МУЛЬТИВИХРЕВОМ СЕПАРАТОРЕ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Максим Олегович Уткин¹, Виталий Викторович Харьков²,
Гузель Рамилевна Бадретдинова³, Андрей Владимирович Дмитриев⁴

^{1, 3, 4} Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

¹ 209maks@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9990-1412>

³ nice.badretdinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5910-5312>

⁴ ieremiada@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8979-4457>

² Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ, Казань, Россия, v.v.kharkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Аннотация. Для использования природного газа непосредственно на площадках по нефтегазодобыче в газовых генераторах требуется его предварительная очистка. Предложена конструкция мультивихревого сепаратора для очистки природного газа от дисперсных частиц. Предлагается установка данного устройства на коллекторе подачи добывающего газа. Особенностью конструкции является цилиндрическая труба с отверстиями, формирующая с корпусом устройства межтрубное пространство, где создается вихревое течение газа. Такая организация движения газа в устройстве способствует процессу сепарации частиц под действием центробежным сил даже при малых скоростях газа. Значение центробежной силы определяется тангенциальной скоростью, которая, в свою очередь, определяется скоростью прохода газа через отверстия. Соотношение расхода потока газа, проходящего через отверстия, к общему расходу является параметром, который сложно предсказать аналитически. Целью работы является численное исследование структуры течения несущей газовой фазы в разработанном устройстве. Были получены зависимости для составляющих скорости газа в мультивихревом сепараторе и соотношение расходов потоков газа в проточной части устройства. Построена безразмерная зависимость профиля скоростей от относительной высоты зоны отверстий на внутренней трубе сепаратора. Определена зависимость для расчета гидравлического сопротивления от входной скорости газа и геометрических параметров устройства. Найдено, что гидравлическое сопротивление устройства не зависит от количества рядов отверстий на внутренней трубе. Полученные зависимости позволяют определить траекторию движения дисперсных частиц в межтрубном пространстве разработанного мультивихревого сепаратора при очистке природного газа.

Ключевые слова: сепарация, очистка газа, вихри, профили скорости.

Для цитирования: Структура потока несущей фазы в мультивихревом сепараторе для улавливания частиц из природного газа / М. О. Уткин [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 207–214. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.026. EDN: <https://elibrary.ru/UXUAJA>.

Original article

CARRIER PHASE FLOW IN MULTIVORTEX SEPARATOR FOR COLLECTING PARTICLES FROM NATURAL GAS

Maxim O. Utkin ¹, Vitaly V. Kharkov ², Guzel R. Badretdinova ³,
Andrey V. Dmitriev ⁴

^{1, 3, 4} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

¹ 209maks@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9990-1412>

³ nice.badretdinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5910-5312>

⁴ ieremiada@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8979-4457>

² Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan, Russia,
v.v.kharkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Abstract. To use natural gas directly in the oil and gas fields in gas generators, it must be previously purified. The design of a multivortex separator to clean natural gas from dispersed particles is proposed. The device is suggested to be installed on a collector for gas recovery. The feature of the structure is a cylindrical pipe with holes, which forms a tubular space between the body of the device, where a vortex gas flow occurs. This gas flow structure in the device provides the process of particle separation by centrifugal forces even at low gas velocities. The centrifugal force value is determined by the tangential velocity, which in turn is determined by the gas velocity through the holes. The ratio of the flow rate through the holes to the total flow is a parameter that is difficult to predict analytically. The work aims to study numerically the structure of the carrier gas flow in the developed device. Dependencies for the gas velocity components in the multivortex separator and the gas flow ratio in the flow part of the device are obtained. The dimensionless dependence of the velocity profile on the hole relative height of the zone in the internal tube of the separator is determined. The dependence is found on the pressure drop against the gas inlet velocity and geometric parameters of the device. The pressure drop of the device is determined to not depend on the number of rows of holes in the internal tube. The obtained dependencies make it possible to determine the trajectory of dispersed particles in the intertube space of the developed multivortex separator during natural gas purification.

Keywords: separation, gas cleaning, vortices, velocity profiles.

For citation: Utkin, M.O., Kharkov, V.V, Badretdinova, G.R. & Dmitriev, A.V. (2023). Carrier phase flow in multivortex separator for collecting particles from natural gas. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 207-214. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.026. EDN: <https://elibrary.ru/UXUAJA>.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие топливно-энергетического комплекса Российской Федерации требует ввода в эксплуатацию новых площадок по добыче нефти и газа. В случае применения газовых генераторов для организации стабильного электропитания постоянной нагрузки возможно непосредственное использование добываемого газа в качестве топлива после предварительной сепарации и редуцирования. Для этого необходима установка фильтров-сепараторов на газовом коллекторе, а также дополнительного блока редуцирования, снижающего давление газа, отобранного с коллектора, до нормального рабочего давления энергетической установки.

В области газовой сепарации накоплено множество экспериментальных и теоретиче-

ских данных. Анализ работы различных устройств для сепарации частиц из природного газа представлен в работе [1]. Авторы [2] предложили компоновочное решение – комбинированную конструкцию центробежного сепаратора для подготовки природного газа с долей попутного нефтяного газа. Осаждение частиц там происходит при турбулентной миграции частиц.

Среди сепараторов отдельным классом являются устройства, использующие в качестве движущей силы центробежную силу, например, циклоны. Эффективность циклонов сильно зависит от размера частиц. Они считаются низкоэффективными сепараторами, особенно для частиц размером менее 5–10 мкм в диаметре [3, 4].

Авторы работы [5] предлагают использовать осевой циклон для улавливания вос-

СТРУКТУРА ПОТОКА НЕСУЩЕЙ ФАЗЫ В МУЛЬТИВИХРЕВОМ СЕПАРАТОРЕ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

кообразного компонента, так как эффективность разделения может достигать 95 % при подходящих условиях эксплуатации. Для повышения эффективности удаления мелких капель (менее 20 мкм) был предложен новый лопастной сепаратор с канавками для использования в процессах очистки природного газа [6]. Также интересная конструкция предложена авторами работы [7]. При достижении тангенциальной скорости потока значения 20 м/с, эффективность разделения может быть выше 94 %. В работах [5, 8] доказано, что методы вычислительной гидродинамики (CFD) оказались полезным инструментом для изучения потоков газа и частиц в циклонных сепараторах.

Сверхзвуковой вихревой сепаратор используется для обработки природного газа с целью конденсации и отделения воды и тяжелых углеводородов. Это компактное трубчатое сепараторное устройство без движущихся частей обеспечивает высокую надежность и доступность [9–11]. В работе [12] получены траектории частиц с учетом процесса конденсации, распределения конденсированных капель по размерам при наличии процессов завихрения, зарождения и роста во время дегидратации богатого метаном природного газа внутри сопла Лаваля для различных углов диффузора.

Кроме того, существующие конструкции, используемые для повышения производительности сепараторов, часто сталкиваются с трудностями при изготовлении и высокими эксплуатационными расходами [13, 14]. В настоящее время сложные конструкции можно изготавливать с помощью 3D печати. Таким образом, был изготовлен сепаратор с направляющими лопастями [15]. Примерно четверть от диаметра трубы занимает смесь из песка, конденсата, воды и различных углеводородов, находящихся в жидком состоянии.

Таким образом, разработка новых эффективных устройств для сепарации частиц из природного газа является актуальной. Авторы предлагают установку мультивихревого сепаратора на газовом коллекторе для улавливания дисперсных частиц из природного газа. Предлагаемое устройство обладает рядом преимуществ:

- в нем создаются вихри малого диаметра даже при малых скоростях газа;
- возникают значительные центробежные силы при небольшом гидравлическом сопротивлении устройства;
- расстояние, которое частицам необходимо преодолевать до стенок устройства, на порядок меньше, чем в циклонах;

- в маленьких вихрях течение практически ламинарное, что упрощает движение частиц к стенкам;

- в пространстве между вихрями и стенками образуются каналы, по которым капли, образуя пленку, могут перемещаться вниз;

- устройство достаточно простое по конструкции, не требует специального инструмента для изготовления.

Целью работы является численное исследование структуры течения несущей фазы в мультивихревом сепараторе для очистки природного газа.

МЕТОДЫ

Мультивихревой сепаратор (рис. 1) представляет собой две трубы, одна из которых расположена внутри другой. Внешняя труба является корпусом устройства. Внутренняя труба заглушена сверху, а в нижней части цилиндрической поверхности имеются отверстия. Отверстия выполнены таким образом, чтобы поток при проходе через них разделялся на две части, образуя два противоположно-направленных вихря. Каждое соседнее отверстие также разбивает поток с образованием двух вихрей. Соседние вихри в точках по линии соприкосновения друг с другом имеют одинаковые скорости, поддерживая вращение друг друга.

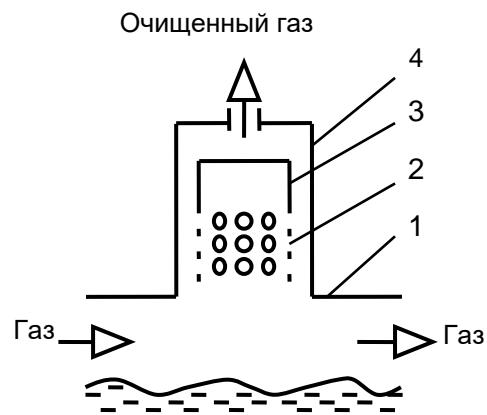


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки мультивихревого сепаратора: 1 – труба газового коллектора; 2 – отверстия; 3 – внутренняя труба; 4 – корпус устройства

Figure 1 - Schematic diagram of installation of the multivortex separator: 1 - gas pipeline, 2 - holes, 3 - internal pipe, 4 - body of separator

Оценочная методика расчета эффективности схожего по принципу действия устройства представлена в работах [16, 17]. Однако в рассматриваемой конструкции имеется

важная особенность. Значение центробежной силы определяется тангенциальной скоростью, которая, в свою очередь, определяется скоростью прохода газа через отверстия. Соотношение расхода потока газа, проходящего через отверстия к общему расходу, является параметром, который сложно предсказать аналитически.

Численное моделирование проводилось на трехмерной модели мультивихревого сепаратора (рис. 2) со следующими геометрическими размерами: внутренний диаметр внешней трубы 100 мм, диаметр внутренней трубы 76×2 мм, диаметр отверстий 12 мм, расстояние от нижнего края внутренней трубы до центров отверстий первого ряда 7 мм, расстояние между центрами отверстий в рядах 13 мм. Количество рядов отверстий варьировалось в диапазоне от 2 до 6. Расстояние от нижней части внутренней трубы до нижней части внешней трубы 100 мм. Общая высота исследуемого устройства 300 мм. Высота внутренней трубы 100 мм.



Рисунок 2 – Трехмерный вид внутренней трубы с отверстиями

Figure 2 - 3D of the perforated internal tube

Расчеты проводились при использовании модели турбулентности SST $k-\omega$, так как она показала хорошую сходимость с экспериментальными данными в предыдущих исследованиях схожих по принципу действия конструкций [18]. Влиянием шероховатости поверхности стенок можно пренебречь. В качестве текучей среды был воздух при температуре 20°C и давлении, близком к атмосферному. В верхней части устройства задавался объемный расход газа на выходе, который варьировался в диапазоне от 0,000833 до $0,21 \text{ м}^3/\text{с}$. В нижней части устройства (на его входе) задавалось атмосферное давление.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате численных расчетов было найдено, что вихри почти не образуются на уровне отверстий. Устойчивая вихревая структура образуется на небольшой высоте от отверстий, даже при малых значениях скорости на входе в устройство (рис. 3). На расстоянии 20 мм от верхней точки внутренней трубы вихревая структура становится неупорядоченной. Возможно, это связано с отсутствием диска с отверстиями и вхождением вихрей в открытое пространство.



Рисунок 3 – Вихри, создающиеся в пространстве между трубами

Figure 3 - Vortices created in the space between tubes

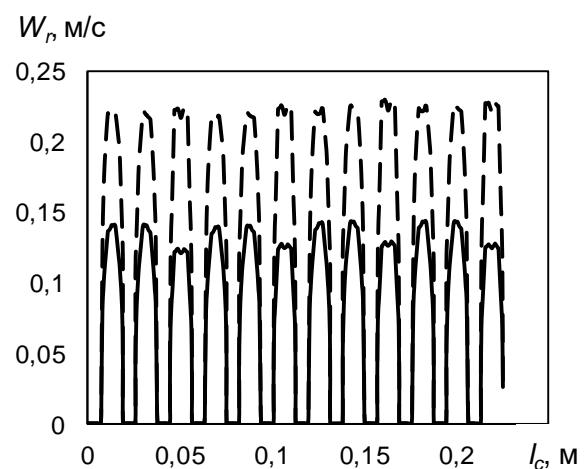


Рисунок 4 – Распределение радиальной скорости движения газа W_r через отверстия. Сплошная линия – первый ряд отверстий, пунктирная линия – второй ряд отверстий

Figure 4 - Radial gas velocity W_r profile through holes. The solid line is the first row of holes, the dotted line is the second row of holes

СТРУКТУРА ПОТОКА НЕСУЩЕЙ ФАЗЫ В МУЛЬТИВИХРЕВОМ СЕПАРАТОРЕ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

На рисунке 4 можно отметить 12 пиков для радиальной скорости газа, что соответствует количеству отверстий на внутренней трубе. Значения скорости газа через первый ряд отверстий колеблются в диапазоне 15 %. Во втором ряду расход газа через отверстия значительно более равномерный. При исследовании конструкций с большим числом рядов отверстий выявлено, что расход газа через них практически одинаковый.

Наибольшие колебания осевой скорости газа наблюдаются в непосредственной близости от стенок внутренней трубы (рис. 5), значения могут отличаться на 60 %. На расстоянии 0,83 от радиуса внутренней трубы колебания значительно снижаются, и на расстоянии 0,72 становятся малозаметными.

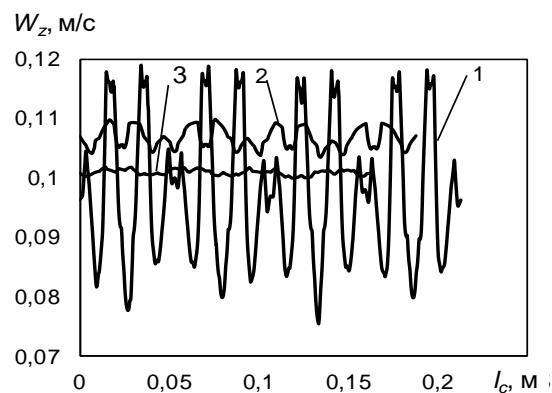


Рисунок 5 – Распределение осевой скорости газа W_z на входе во внутреннюю трубу. Относительный радиус окружности, на котором фиксировались значения осевой скорости: 1 – 0,94; 2 – 0,83; 3 – 0,72

Figure 5 - Axial gas velocity W_z at the inlet to the internal pipe under different relative diameter of the circle, on which the values were fixed:
1 - 0.94; 2 - 0.83; 3 - 0.72

Если рассмотреть распределение осевой скорости движения газа на входе во внутреннюю трубу по радиусу при различных значениях его объемного расхода, то можно заметить, что профиль существенно отличается от профиля скоростей при движении в трубе круглой формы (рис. 6). По краям наблюдаются ярко выраженные локальные максимумы, причем их расположение практически не зависит от входной скорости. Осреднение значений осевых скоростей проводилось по длине окружностей.

Зависимости гидравлического сопротивления от скорости на входе при изменении количества рядов отверстий во внутренней трубе от 2 до 6 полностью совпали (рис. 7).

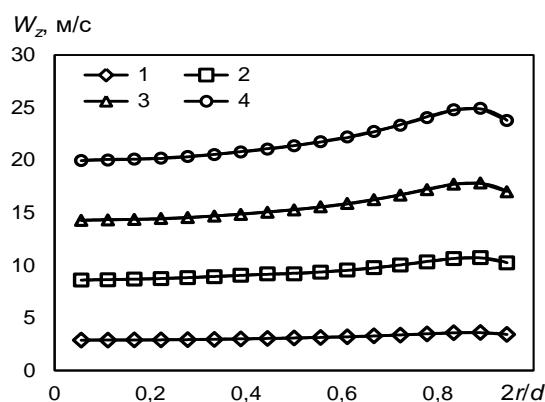


Рисунок 6 – Распределение осевой скорости движения газа W_z на входе во внутреннюю трубу по радиусу $2r/d$ при различных значениях его объемного расхода, $\text{м}^3/\text{s}$: 1 – 0,03; 2 – 0,09; 3 – 0,15; 4 – 0,21

Figure 6 - Axial gas velocity W_z at the inlet to the internal pipe along the radius $2r/d$ at different values of gas volume flow rate, m^3/s : 1 - 0.03; 2 - 0.09; 3 - 0.15; 4 - 0.21

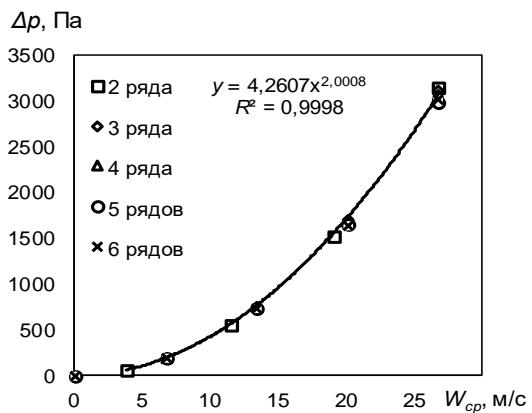


Рисунок 7 – Зависимость гидравлического сопротивления устройства Δp от входной скорости газа W_{cp}
Figure 7 - Pressure drop of the device Δp versus the inlet gas velocity W_{av}

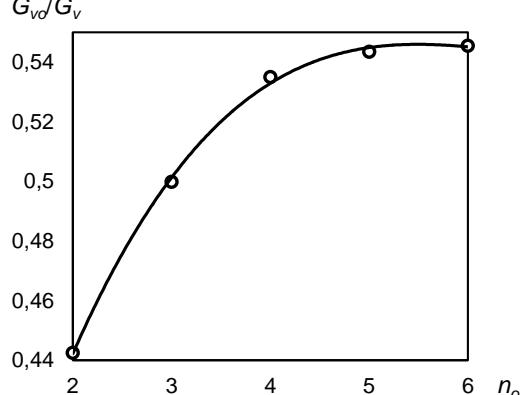


Рисунок 8 – Зависимость относительного расхода G_{vo}/G_v от количества рядов отверстий n_o

Figure 8 - Relative flow rate G_{vo}/G_v versus the number of rows of holes n_o

Соотношение расходов существенно зависит от общего расхода газа только при количестве рядов отверстий меньше 4 (рис. 8). При большем числе рядов соотношение примерно равно 0,54.

Анализ профилей скорости выхода газа через ряды отверстий показал, что существует безразмерная зависимость профиля скоростей от относительной высоты зоны отверстий (рис. 9).

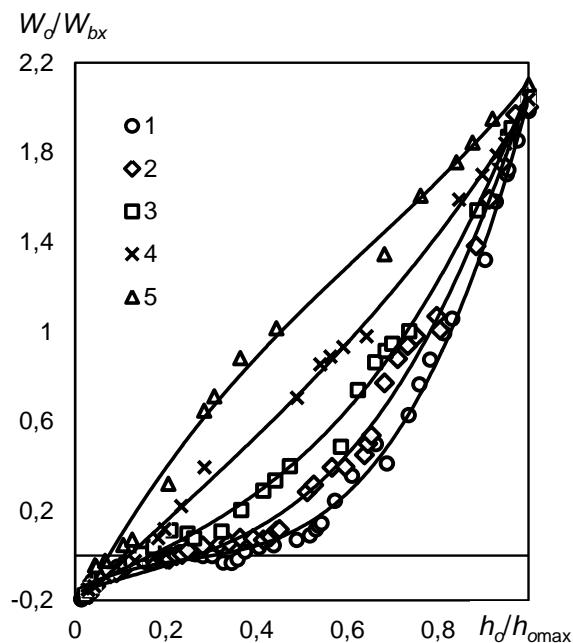


Рисунок 9 – Распределение относительной скорости W_o/W_{bx} по относительной высоте h_o/h_{max} в зависимости от количества отверстий n_o : 1 – 6; 2 – 5; 3 – 4; 4 – 3; 5 – 2

Figure 9 - Relative velocity W_o/W_{bx} versus relative height h_o/h_{max} depending on the number of rows of holes n_o : 1 - 6; 2 - 5; 3 - 4; 4 - 3; 5 - 2

Можно заключить, что тангенциальная скорость в вихрях, образующихся в кольцевом пространстве сепаратора, не зависит от количества отверстий, а определяется лишь скоростью газа на входе в устройство. Расположение отверстий влияет лишь на распределение потока газа через отверстия.

При обработке результатов получены коэффициенты для зависимости вида:

$$\frac{W_o}{W_{o\max}} = a \left(\frac{h_o}{h_{o\max}} \right)^3 + b \left(\frac{h_o}{h_{o\max}} \right)^2 + c \left(\frac{h_o}{h_{o\max}} \right) + d.$$

Значения коэффициентов a, b, c, d в зависимости от числа рядов отверстий, полученные при значении коэффициента детерминации более 0,99, в виде цифр представ-

лены в таблице 1, а в виде графика на рисунке 10.

Таблица 1 – Значения коэффициентов a, b, c, d
Table 1 - The coefficients a, b, c, d

n_o	a	b	c	d
2	1,5271	-2,9851	3,8349	-0,2695
3	0,6768	-0,3667	1,9323	-0,2251
4	1,6038	-0,3466	0,9848	-0,1621
5	2,5242	-0,9836	0,7134	-0,1682
6	4,2810	-3,1675	1,0830	-0,1559

Аномальные значения коэффициентов получаются только при двух рядах отверстий (рис. 10). В остальных случаях коэффициенты либо монотонно возрастают, либо монотонно убывают.

В предлагаемом устройстве создаются большие центробежные силы при относительно небольших значениях скоростей газа. Например, для создания фактора разделения, как у сверхцентрифуги, равного 3500, необходимо создать скорость движения газа в отверстиях 14,35 м/с, что соответствует скорости газа на входе в устройство 6,77 м/с. При этом гидравлическое сопротивление устройства составит менее 200 Па.

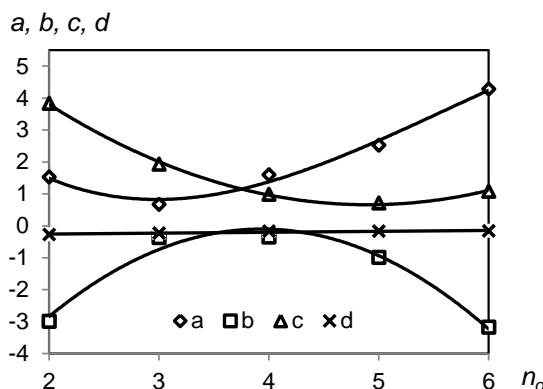


Рисунок 10 – Значения коэффициентов a, b, c, d в зависимости от числа рядов отверстий n_o

Figure 10 - The coefficients a, b, c, d versus the number of holes n_o

В дальнейшем необходимо исследовать эффективность сепарации частиц при рабочих технологических параметрах при условии образования стекающей пленки на стенках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе численного моделирования течения газа в разработанной конструкции мультивихревого сепаратора для улавлива-

СТРУКТУРА ПОТОКА НЕСУЩЕЙ ФАЗЫ В МУЛЬТИВИХРЕВОМ СЕПАРАТОРЕ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

ния дисперсных частиц из природного газа можно сделать следующие выводы:

- полученные зависимости скорости позволяют определить тангенциальную скорость вихрей и, следовательно, решить уравнения движения капель в пространстве между трубами;
- получена зависимость для расчета гидравлического сопротивления от некоторых геометрических размеров и скорости;
- выявлено, что гидравлическое сопротивление устройства не зависит от количества рядов отверстий на внутренней трубе;
- полученное соотношение расходов потоков газа в проточной части устройства позволит рассчитать осевую компоненту скорости в зоне вихрей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чумаченко Д.А., Колесников И.Н. Анализ эффективности пылеуловителей для природного газа // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2017. № 1. С. 25–30.
2. Ozherelev D.A., Shalai V.V., Ridel I.A. Study of the operating efficiency of centrifugal separators for gas preparation // Proc. High. Educ. Institutions. Machine Build. 2022. № 9 (750). Р. 63–72. doi: 10.18698/0536-1044-2022-9-63-72.
3. Wasilewski M. Analysis of the effect of counter-cone location on cyclone separator efficiency // Sep. Purif. Technol. 2017. Vol. 179. Р. 236–247. doi: 10.1016/j.seppur.2017.02.012.
4. Numerical and experimental investigation on a downhole gas-liquid separator for natural gas hydrate exploitation / W. Lan [et al.] // J. Pet. Sci. Eng. 2022. Vol. 208. Р. 109743. doi: 10.1016/j.petrol.2021.109743.
5. Chen X., Yu J., Zhang Y. The use of axial cyclone separator in the separation of wax from natural gas: A theoretical approach // Energy Reports. 2021. Vol. 7. Р. 2615–2624. doi: 10.1016/j.egyr.2021.05.006.
6. Wang J., Ji Z., Liu Z. Experimental and numerical investigation on the gas–liquid separation performance of a novel vane separator with grooves // Chem. Eng. Res. Des. 2022. Vol. 180. Р. 306–317. doi: 10.1016/j.cherd.2021.12.049.
7. A novel horizontal gas–liquid pipe separator for wet gas based on the phase-isolation / Y. Yang [et al.] // Chem. Eng. Res. Des. 2022. Vol. 178. Р. 315–327. doi: 10.1016/j.cherd.2021.12.021.
8. On the effect of the nozzle design on the performances of gas–liquid cylindrical cyclone separators / R. Hreiz [et al.] // Int. J. Multiph. Flow. 2014. Vol. 58. Р. 15–26. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2013.08.006.
9. Wen C., Cao X., Yang Y. Swirling flow of natural gas in supersonic separators // Chem. Eng. Process. Process Intensif. 2011. Vol. 50, № 7. Р. 644–649. doi: 10.1016/j.cep.2011.03.008.
10. Ghorbanian K., AminiMagham M. Swirl intensity as a control mechanism for methane purification in supersonic gas separators // J. Nat. Gas Sci. Eng. 2020. Vol. 83. Р. 103572. doi: 10.1016/j.jngse.2020.103572.
11. Wang Y., Yu Y., Hu D. Experimental investigation and numerical analysis of separation performance for supersonic separator with novel drainage structure and reflux channel // Appl. Therm. Eng. 2020. Vol. 176. Р. 115111. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115111.
12. Rajaee Shooshtari S.H., Shahsavand A. Numerical investigation of water droplets trajectories during natural gas dehydration inside supersonic separator // J. Nat. Gas Sci. Eng. 2018. Vol. 54. Р. 131–142. doi: 10.1016/j.jngse.2018.03.013.
13. Xu Y., Yang Z., Zhang J. Study on performance of wave-plate mist eliminator with porous foam layer as enhanced structure. Part I: Numerical simulation // Chem. Eng. Sci. 2017. Vol. 171. Р. 650–661. doi: 10.1016/j.ces.2017.05.031.
14. Enhanced water collection of bio-inspired functional surfaces in high-speed flow for high performance demister / S.W. Kim [et al.] // Desalination. 2020. Vol. 479. Р. 114314. doi: 10.1016/j.desal.2020.114314.
15. Gas-solid separation performance and structure optimization in 3D printed guide vane cyclone separator / C. Han [et al.] // Adv. Powder Technol. 2022. Vol. 33, № 11. Р. 103815. doi: 10.1016/j.apt.2022.103815.
16. Cleaning Air Streams from Fine Particles in Paint Booths / R.Y. Bikkulov [et al.] // Ecol. Ind. Russ. 2021. Vol. 25, № 12. Р. 10–14. doi: 10.18412/1816-0395-2021-12-10-14.
17. Разработка классификатора с соосно расположенным трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля / М.Э. Зинуров [и др.] // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 205–211. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.029.
18. Numerical Study of Vortex Flow in a Classifier with Coaxial Tubes / V. Zinurov [et al.] // Int. J. Eng. Technol. Innov. 2022. Vol. 12, № 4. Р. 336–346. doi: 10.46604/ijeti.2022.9568.

Информация об авторах

М. О. Уткин – аспирант кафедры «Теоретические основы теплотехники» Казанского государственного энергетического университета.

В. В. Харьков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплотехника и энергетическое машиностроение» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева–КАИ.

Г. Р. Бадретдинова – аспирант, ассистент кафедры «Теоретические основы теплотехники» Казанского государственного энергетического университета.

А. В. Дмитриев – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Теоретические основы теплотехники» Казанского государственного энергетического университета.

REFERENCES

1. Chumachenko, D.A. & Kolesnikov, I.N. (2017). Analysis of the efficiency of dust collectors for natural gas. *Urban planning. Infrastructure. Communications*, 1, 25-30. (In Russ.).
2. Ozherelev, D.A., Shalai, V.V. & Ridel, I.A. (2022). Study of the operating efficiency of centrifugal separators for gas preparation. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 9 (750), 63-72. doi: 10.18698/0536-1044-2022-9-63-72.
3. Wasilewski, M. (2017). Analysis of the effect of counter-cone location on cyclone separator efficiency. *Separation and Purification Technology*, 179, 236-247. doi: 10.1016/j.seppur.2017.02.012.
4. Lan, W., Wang, H., Li, Y., Feng, K., Zhang, X., Liu, Y., Zhu, X. & Chen, S. (2022). Numerical and experimental investigation on a downhole gas-liquid separator for natural gas hydrate exploitation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208, 109743. doi: 10.1016/j.petrol.2021.109743.
5. Chen, X., Yu, J. & Zhang, Y. (2021). The use of axial cyclone separator in the separation of wax from natural gas: A theoretical approach. *Energy Reports*, 7, 2615-2624. doi: 10.1016/j.egyr.2021.05.006.
6. Wang, J., Ji, Z. & Liu, Z. (2022). Experimental and numerical investigation on the gas-liquid separation performance of a novel vane separator with grooves. *Chemical Engineering Research and Design*, 180, 306-317. doi: 10.1016/j.cherd.2021.12.049.
7. Yang, Y., Ha, W., Zhang, H., Zhang, C., Wang, Y., Zhang, X. & Wang, D. (2022). A novel horizontal gas-liquid pipe separator for wet gas based on the phase-isolation. *Chemical Engineering Research and Design*, 178, 315-327. doi: 10.1016/j.cherd.2021.12.021.
8. Hreiz, R., Lainé, R., Wu, J., Lemaitre, C., Gentric, C. & Fünfschilling, D. (2014). On the effect of the nozzle design on the performances of gas-liquid cylindrical cyclone separators. *International Journal of Multiphase Flow*, 58, 15-26. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2013.08.006.
9. Wen, C., Cao, X. & Yang, Y. (2011). Swirling flow of natural gas in supersonic separators. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(7), 644-649. doi: 10.1016/j.cep.2011.03.008.
10. Ghorbanian, K. & AminiMagham, M. (2020). Swirl intensity as a control mechanism for methane purification in supersonic gas separators. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 83, 103572. doi: 10.1016/j.jngse.2020.103572.
11. Wang, Y., Yu, Y. & Hu, D. (2020). Experimental investigation and numerical analysis of separation performance for supersonic separator with novel drainage structure and reflux channel. *Applied Thermal Engineering*, 176, 115111. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115111.
12. Rajaee Shooshtari, S.H. & Shahsavand, A. (2018). Numerical investigation of water droplets trajectories during natural gas dehydration inside supersonic separator. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 54, 131-142. doi: 10.1016/j.jngse.2018.03.013.
13. Xu, Y., Yang, Z. & Zhang, J. (2017). Study on performance of wave-plate mist eliminator with porous foam layer as enhanced structure. Part I: Numerical simulation. *Chemical Engineering Science*, 171, 650-661. doi: 10.1016/j.ces.2017.05.031.
14. Kim, S.W., Kim, J., Park, S.S. & Kim, D.R. (2020). Enhanced water collection of bio-inspired functional surfaces in high-speed flow for high performance demister. *Desalination*, 479, 114314. doi: 10.1016/j.desal.2020.114314.
15. Han, C., Hu, Y., Li, W. & Bie, Q. (2022). Gas-solid separation performance and structure optimization in 3D printed guide vane cyclone separator. *Advanced Powder Technology*, 33(11), 103815. doi: 10.1016/j.apt.2022.103815.
16. Bikkulov, R.Y., Dmitrieva, O.S., Dmitriev, A.V. & Badretdinova, G.R. (2021). Cleaning Air Streams from Fine Particles in Paint Booths. *Ecology and Industry of Russia*, 25(12), 10-14. doi: 10.18412/1816-0395-2021-12-10-14.
17. Zinurov, M.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. *Polzunovskiy vestnik*, 2, 205-211. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.029. (In Russ.).
18. Zinurov, V., Kharkov, V., Pankratov, E. & Dmitriev, A. (2022). Numerical Study of Vortex Flow in a Classifier with Coaxial Tubes. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, 12(4), 336-346. doi: 10.46604/ijeti.2022.9568.

Information about the authors

M.O. Utkin - Postgraduate Student of the Department «Theoretical Foundations of Thermotechnics» of the Kazan State Power Engineering University.

V.V. Kharkov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Thermotechnics and Power Engineering» of the Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev - KAI.

G.R. Badretdinova - Postgraduate Student, Assistant Professor of the Department «Theoretical Foundations of Thermotechnics» of the Kazan State Power Engineering University.

A.V. Dmitriev - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department «Theoretical Foundations of Thermotechnics» of the 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 06.12.2022; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 06 Dec 2022; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 678.8
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.027

EDN: UKHDXT

КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ОБОЛОЧКИ ПОЛИЛАКТИДА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ (I) МЕТОДОМ ТИТРОВАНИЯ

Максим Петрович Данилаев ¹, Елена Андреевна Бобина ²,
Сергей Викторович Дробышев ³, Сергей Алексеевич Карандашов ⁴,
Владимир Александрович Куклин ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Россия

⁵ Казанский федеральный университет, Казань, Россия

¹ danilaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7733-9200>

² lemurik1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0196-1693>

³ warlordik_009@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1655-4492>

⁴ seregak2005@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7608-6531>

⁵ iamkvova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4254-5837>

Аннотация. Изменение некоторых механических характеристик дисперсно-армированных полимерных композиционных материалов с биоцидным эффектом возможно обеспечить путем контроля толщины полимерной оболочки на поверхностях дисперсных частиц наполнителя. В работе предложен косвенный контроль толщины оболочки полилактида на поверхностях дисперсных частиц оксида меди (I) с использованием метода титрования. Для калибровки полученных результатов титрования в работе определяли смещение максимума гистограммы распределения частиц (капсулированных относительно исходных частиц) по размерам по анализу микрофотографий. Предложена аппроксимация временной зависимости концентрации ионов меди в таком растворе экспоненциальной функцией вида. Нелинейность измерительной характеристики, связывающей постоянную времени аппроксимирующей экспоненциальной функции с толщиной оболочки, связана с различным значением плотности полилактида разной толщины.

Ключевые слова: капсулирование, толщина оболочки, полилактид, титрование, дисперсные частицы наполнителя полимера.

Благодарности: научные исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант №23-29-00160.

Для цитирования: Контроль толщины оболочки полилактида на поверхностях дисперсных частиц оксида меди (I) методом титрования / М. П. Данилаев [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 215–222. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.027. EDN: <https://elibrary.ru/UKHDXT>.

Original article

CONTROL OF POLYLACTIDE SHELL THICKNESS ON THE SURFACES OF DISPERSED COPPER (I) OXIDE PARTICLES BY TITRATION METHOD

Maxim P. Danilaev ¹, Elena A. Bobina ²,
Sergej V. Drobyshev ³, Sergej A. Karandashov ⁴,
Vladimir A. Kuklin ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia

⁵ Kazan Federal University, Kazan, Russia

¹ danilaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7733-9200>

² lemurik1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0196-1693>

³ warlordik_009@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1655-4492>

⁴ seregak2005@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7608-6531>

⁵ iamkvova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4254-5837>

Abstract. It is possible to change some mechanical characteristics of dispersed reinforced polymer composites with biocide effect by controlling the thickness of the polymer shell on the surfaces of dispersed filler particles. In this work an indirect control of polylactide shell thickness on the surfaces of disperse particles of copper oxide (I) using the titration method was proposed. To calibrate the obtained titration results we determined the shift of maximum histogram of particles (encapsulated relative to the original particles) size distribution by the analysis of microphotographs. Approximation of the time dependence of copper ions concentration in such a solution by an exponential function of the form is proposed. The nonlinearity of the measuring characteristic which connects the time constant of the approximating exponential function with the shell thickness is connected with different values of the polylactide shell density of different thickness.

Keywords: encapsulation, shell thickness, polylactide, titration, dispersed polymer filler particles.

Acknowledgements: this work was supported by Russian Science Foundation Grant No 23-29-00160.

For citation: Danilaev, M.P., Bobina, E.A., Drobyshev, S.V., Karandashov, S.A. & Kuklin, V.A. (2023). Control of polylactide shell thickness on the surfaces of dispersed copper (I) oxide particles by titration method. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 215-222. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.027. EDN: <https://elibrary.ru/UKHDXT>.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ), в особенности в условиях тропического климата, требует повышения стойкости ПКМ к биодеструкции с одновременным обеспечением заданных механических характеристик [1–4]. Один из перспективных подходов к решению данной задачи основан на использовании дисперсных частиц наполнителя полимера, в качестве которых выбирают частицы, проявляющие токсичность к микроорганизмам, – биодеструкторам [5, 6]. Варьировать механическими характеристиками таких ПКМ возможно, в том числе путем формирования на

поверхностях дисперсных частиц полимерной оболочки определенной толщины. Так, в статье [7] показано, что при толщине оболочки полистирола ~10 нм на поверхностях субмикронных частиц оксида алюминия значение модуля упругости их композиции с АБС (акрилонитрилбутадиен стирол) пластиком оказывается максимальной. При этом массовая концентрация капсулированных частиц в матричном полимере не превышала 1 %. В работе [8] предложено использовать дисперсные частицы оксида меди, капсулированные полилактидом (ПЛА), для одновременного повышения стойкости ПКМ к биодеструкции и достижения повышенных механических характеристик. Кроме этого, оболочка

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2023

КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ОБОЛОЧКИ ПОЛИЛАКТИДА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ (I) МЕТОДОМ ТИТРОВАНИЯ

из полилактида удерживает дисперсные частицы в полимерной матрице, тем самым защищая окружающую среду от вредного воздействия токсина. В процессе биодеструкции такой полимерной композиции микроорганизмы разрушают полилактид. Следует отметить, что полилактид быстрее растворяется в органических кислотах, выделяемых микроорганизмами [9], что делает его более привлекательным для биодеструкторов, чем полимерная матрица. В результате разрушения полимерной оболочки происходит контакт биодеструкторов с токсическими для них производными меди [10–12]. При этом толщина оболочки полилактида оказывает существенное влияние на механические характеристики композита [13]. Таким образом, следует контролировать толщину полимерной оболочки на поверхностях дисперсных частиц в процессе ее формирования для обеспечения заданных механических характеристик таких ПКМ.

В общем случае возможно выделить две группы методов контроля толщины полимерной оболочки на поверхностях дисперсных частиц: прямые и косвенные методы. Прямые методы контроля предполагают определение среднего значения толщины полимерной оболочки путем проведения микроскопических (визуальных) измерений. Например, в работах [13, 14] толщину полимерной оболочки определяют по смещению максимума в гистограмме распределения числа капсулированных частиц по размерам относительно исходных (не капсулированных) частиц. Гистограмма распределения строится по результатам анализа фотографий частиц, полученных с помощью электронной сканирующей микроскопии. Существенными ограничениями этой группы методов являются длительное время измерений и сложность получения образцов дисперсных частиц для проведения измерений, в особенности при капсулировании в супензиях. Вторая группа методов предполагает оценку толщины полимерной оболочки по косвенным признакам. Например, по различию масс капсулированных и исходных частиц (методы седиментации [14]), по разнице показателей их преломления (методы светорассеяния [15]), по скорости растворения оболочки [16] и др. Эта группа методов направлена на устранение приведенных недостатков микроскопии, но требует калибровки [17, 18].

Целью данной работы является разработка косвенного контроля толщины оболочки полилактида на поверхностях дисперсных частиц оксида меди (I) с использованием методов титрования.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Получение оболочки.

Формирование оболочки полилактида осуществляли путем инициирования процесса коацервации полилактида (производства Natural Works LLC марки PLA 4043D) из раствора ПЛА в бензоле (ГОСТ 5955-75 с квалификацией чистоты «хх») на поверхности дисперсных частиц оксида меди (I) (ТУ 6-09-765-76 с квалификацией «ЧДА») [8].

Для чего в круглодонной колбе объемом 200 мл растворили 0.75 ± 0.05 г гранул полилактида в 50 ± 1 г бензола перемешиванием на магнитной мешалке с подогревом (производства фирмы Экрос, модель ES-6120) в течение 6 часов (± 30 минут) при температуре 40 ± 2 °C. После растворения полилактида в бензоле образуется вязкий прозрачный раствор. Суспензию этого раствора с частицами оксида меди (I) готовили следующим образом. В ультразвуковой ванне (Daihan WUC-A01H, мощность 50 Вт) дисперсировали 1 ± 0.1 г частиц оксида меди в 25 ± 2 г бензола, в течение 1 ± 0.1 минут. После гомогенизации в суспензии при постоянном перемешивании при температуре (40 ± 2) °C добавили 50 ± 1 г раствора бензола с полилактидом. Процесс коацервации инициировали добавлением вытесняющего растворителя гексана (ТУ 2631-158-44493179-13 с квалификацией чистоты «хх»), массой 10 ± 1 г, при постоянном перемешивании суспензии на магнитной мешалке. Для того чтобы получить разную толщину оболочки ПЛА, на поверхностях частиц изменяли скорость добавления гексана: $(3 \pm 30) \pm 2$ капель в минуту [8]. Средний объем одной капли в экспериментах составлял $\sim 0.05 \pm 0.01$ мл. Капсулированные ПЛА частицы оксида меди (I) отфильтровывали из суспензии с использованием микрофильтровальной бумаги.

Методы исследования

Изображения частиц как капсулированных, так и некапсулированных (исходных) (рис. 1), получали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на электронном микроскопе Carl Zeiss AURIGA Cross Beam с ЭДВ Inca X-Max 80 мм^2 . Анализ размеров частиц проводился по выборке из 800–1200 частиц. Следует отметить, что увеличение числа частиц в выборке свыше 500 не влияло на результаты статистической обработки [13].

Для достижения поставленной цели воспользовались хорошей растворимостью как полилактида, так и оксида меди в растворе серной кислоты в присутствии перекиси водорода [19]:

1. $\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuO} + \text{H}_2\text{O}$;
2. $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cu}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$.

Частицы Cu_2O растворяются с образованием ионов меди, концентрацию которых возможно определить, например, методом титрования [20, 21]. Следует ожидать, что изменение концентрации таких ионов во времени определяется толщиной оболочки полилактида. Чем толще оболочка полилактида, тем дольше она растворяется, и, соответственно, позже появляются ионы меди в растворе. Причем, по всей видимости, характер временной зависимости образования ионов меди в растворе определяется как сплошностью оболочки ПЛА, так и разбросом значения толщины оболочки на частицах.

Пробы для титрования объемом 10 ± 0.1 мл отбирали через равные промежутки времени $\sim 10 \pm 0.5$ минут. Навеска капсулированных частиц в растворах составляла 0.5 ± 0.05 г. Титрование отобранных проб проводили трилоном Б (ТУ 20.59-046-79640352-2018) в присутствии индикатора мурексида (ГОСТ 4919.1-2016) при температуре 20 ± 1 °C. Навеску дисперсных частиц помещали в раствор 94 % серной кислоты в дистиллированной воде (на 0.525 г воды 0.9 г серной кислоты) с добавлением (2.7 г) 3 % раствора перекиси водорода. Получившуюся суспензию перемешивали на магнитной мешалке со скоростью 600 оборотов в минуту. На время отбора пробы мешалку отключали. Расчет концентрации (С) ионов меди в анализируемом растворе определяли по формуле (ГОСТ 32221-2013):

$$C = \frac{C_{trB} \cdot V}{m_{Cu}}, \quad (1)$$

где C_{trB} – массовая концентрация раствора трилона Б по меди ($\text{г}/\text{см}^3$); V – объем (см^3) раствора трилона Б при титровании пробы; m_{Cu} – масса меди в навеске (г).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Типовые фотографии исходных и капсулированных частиц оксида меди (I) представлены на рисунке 1. Капсулированные частицы оксида меди (I) (рис. 1) были получены при следующих условиях: $m_{\text{Cu}_2\text{O}} = 1 \pm 0.1$ г, концентрация ПЛА на 100 мл бензола $(4.5 \pm 0.1) \cdot 10^{-4}$ г, скорость добавления гексана 15 ± 1 капель/мин. Судя по фотографическим изображениям, оболочка на поверхностях капсулированных частиц неоднородна по толщине. Это должно повлиять на скорость образования ионов меди при титровании.

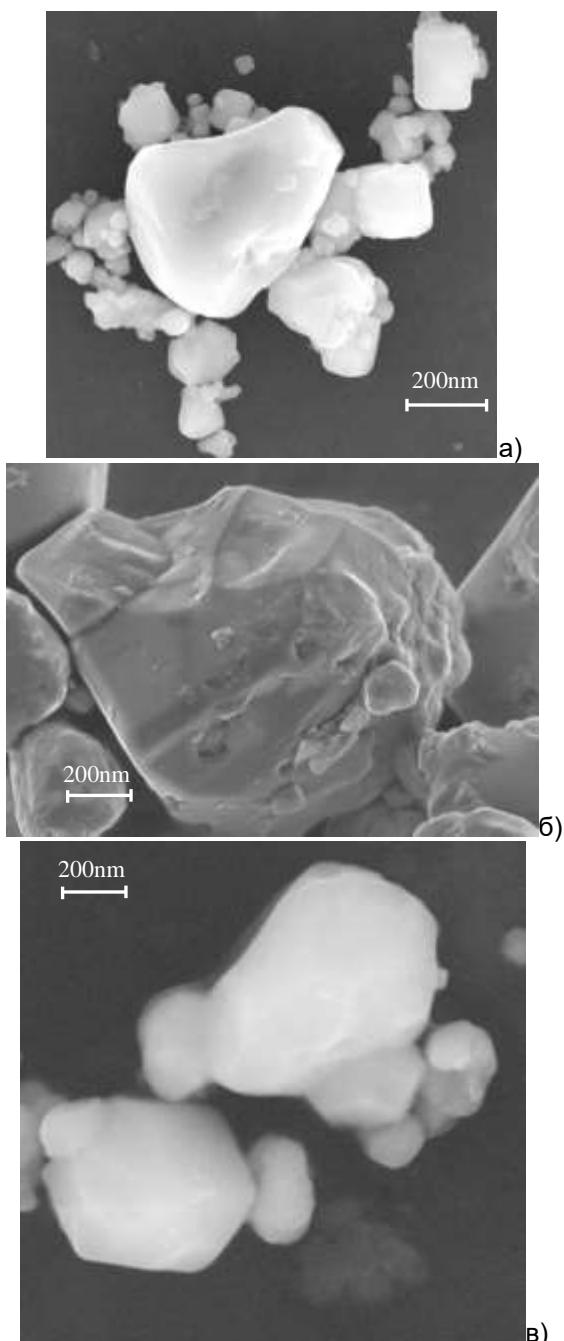


Рисунок 1 – Фотографии частиц оксида меди (I): а – исходные частицы; б, в – капсулированные частицы

Figure 1 - Photographs of copper (I) oxide particles: a - original particles; b, c - encapsulated particles

Оценка размеров частиц оксида меди осуществлялась путем статистической обработки полученных микрофотографий в программной среде ImageJ для калибровки косвенного метода. По результатам анализа микрофотографий строились гистограммы рас-

КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ОБОЛОЧКИ ПОЛИЛАКТИДА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ (I) МЕТОДОМ ТИТРОВАНИЯ

пределения дисперсных частиц по размерам. Пример таких гистограмм приведен на рисунке 2 для исходных (рис. 1, а) и капсулированных (рис. 1, б, в) частиц. Для исходных и капсулированных частиц N_0 составило $\sim 500 \pm 20$.

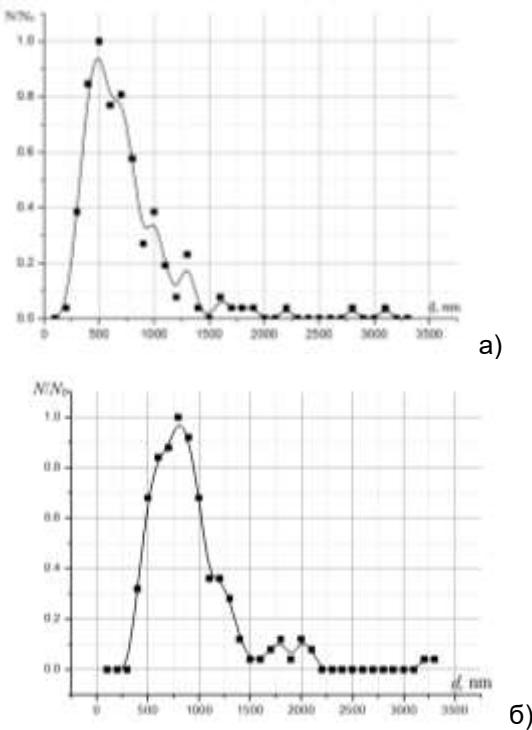


Рисунок 2 – Распределение числа частиц по размерам: а – исходные частицы; б – капсулированные частицы оксида меди (I); N – число частиц с определенным размером, N_0 – число частиц, соответствующее максимуму в распределении

Figure 2 - Particle number size distribution: a - initial particles, b - encapsulated copper oxide particles, N - number of particles of a certain size, N_0 - number of particles corresponding to the maximum in the distribution

По смещению максимумов гистограмм, полученных для капсулированных частиц, относительно максимума гистограммы, полученной для исходных частиц, определяли толщину оболочки ПЛА. Зависимость на рисунке 3 получена по результатам анализа микрофотографий пяти образцов капсулированных частиц с различной толщиной оболочки ПЛА.

График среднего значения толщины (h) оболочки ПЛА (рисунок 3) использовали для калибровки результатов косвенного метода определения h титрованием (рисунок 4). Среднеквадратическое отклонение при определении массы ионов меди в растворе составила не более 15 %.

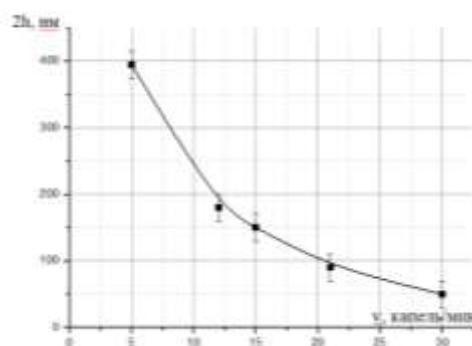
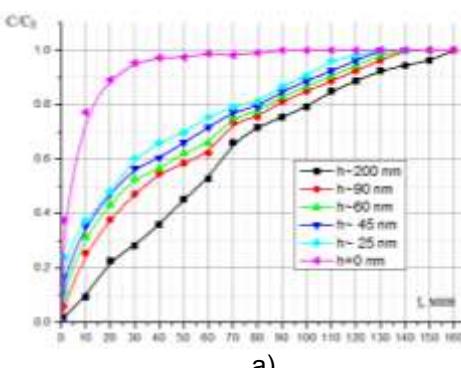
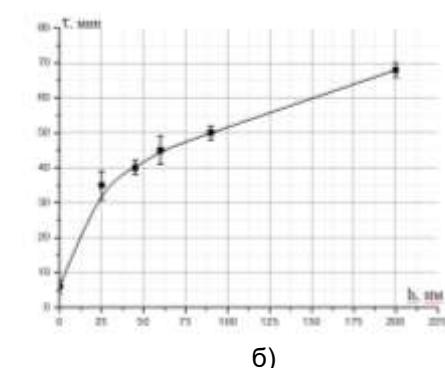


Рисунок 3 – Зависимость среднего значения толщины (h) оболочки полилактида от скорости добавления гексана

Figure 3 - Dependence of the average value of polylactide shell thickness (h) on the rate of addition of hexane



а)



б)

Рисунок 4 – Зависимости: а – изменения концентрации ионов меди в растворе от времени; б – постоянной времени растворения капсулированных частиц оксида меди (I) от толщины оболочки ПЛА

Figure 4 - Dependences of: a - change in concentration of copper ions in solution with time; b - dissolution time constant of encapsulated copper oxide (I) particles on PLA shell thickness

Экспериментальные зависимости на рисунке 4, а возможно аппроксимировать функцией вида:

$$C(t) = C_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right), \quad (2)$$

где τ – характерное время процесса образования ионов меди, соответствующее изменению концентрации ионов меди в растворе в e раз, C_0 – концентрация ионов меди в растворе после растворения всех частиц оксида меди (I), $C_0 = 0.85 \text{ [г/см}^3]$. Интегральное значение невязки (Δ) [22] на временном интервале [0, 160] минут при сравнении экспериментальных

Таблица 1 – Значения невязки при сравнении экспериментальных и аппроксимирующих их зависимостей

Table 1 - Residual values after comparing the experimental and approximating dependences

$h, \text{ нм}$	0	25	45	60	90	200
Δ	0.05	0.03	0.04	0.05	0.05	0.03

ВЫВОДЫ

Обобщая полученные результаты, можно заключить, что метод растворения капсулированных ПЛА частиц оксида меди (I) в растворе кислоты с добавлением перекиси водорода возможно использовать для определения средней толщины (h) оболочки полилактида. Аппроксимация временной зависимости концентрации ионов меди в таком растворе экспоненциальной функцией вида (2) имеет малые значения невязки. Это позволяет использовать измерительную характеристику, связывающую характерное время (τ) процесса образования ионов меди в растворе с значениями средней толщины полимерной оболочки. Плотность полилактида в оболочках на поверхностях частиц нарастает во времени в процессе коацервации, т.е. с ростом толщины оболочки. Следует отметить, что растворение полилактида приводит к образованию молочной кислоты, которая также может способствовать растворению частиц оксида меди с образованием комплексов, содержащих ионы меди. Однако линейная зависимость измерительной характеристики в области толщин $h > 50 \text{ нм}$ позволяет предположить, что это не оказывает существенного влияния на изменение скорости растворения этих частиц.

(рис. 4, а) и аппроксимирующих их зависимостей (2) представлено в таблице 1.

Зависимость $\tau = \tau(h)$ существенно не линейна. Причина этого, возможно, связана с различным значением плотности оболочки полилактида разной толщины: с ростом толщины плотность полилактида в оболочке возрастает. Здесь следует отметить результаты работы [23], в которой показано нарастание плотности полимерной оболочки на поверхностях дисперсных частицах во времени при образовании, инициированном коацервацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биокоррозия синтетических пластмасс: механизмы деградации и способы защиты / В.К. Плакунов [и др.] // Микробиология. 2020. № 89(6). С. 631–645. <http://dx.doi.org/10.31857/S0026365620060142>.
2. Review on plastic wastes in marine environment Biodegradation and biotechnological solutions / A. Ganesh Kumar, K. Anjana, M. Hinduja, K. Sujitha & G. Dharani // Marine Pollution Bulletin. 2020. № 150. Р. 110733. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110733>.
3. Plastic wastes biodegradation: mechanisms, challenges and future prospects / S.S. Ali, T. Elsamahy, R. Al-Tohamy, D. Zhu, Y.A.G. Mahmoud, E. Koutra & J. Sun // Science of the Total Environment. 2021. № 780. Р. 146590. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146590>.
4. Gautam R., Bassi A.S. & Yanful E.K. A review of biodegradation of synthetic plastic and foams // Applied biochemistry and biotechnology. 2007. № 141(1). Р. 85–108. <http://dx.doi.org/10.1007/s12010-007-9212-6>.
5. Palza H. Antimicrobial polymers with metal nanoparticles // International journal of molecular sciences. 2015. № 16(1). Р. 2099–2116. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms16012099>.
6. Advantages of nanotechnology developments in active food packaging / J. Mahmud, E. Sarmast, S. Shankar & M. Lacroix // Food Research International. 2022. Р. 111023. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111023>.
7. Influence of the thickness of a polymer shell applied to surfaces of submicron filler particles on the properties of polymer compositions / A.A. Akhmadeev, E.A. Bogoslov, M.P. Danilaev, M.A. Klabukov & V.A. Kuklin // Mechanics of Composite Materials. 2020. № 56(2). Р. 241–248. <https://doi.org/10.1007/s11029-020-09876-4>.
8. Dispersed copper (I) oxide particles encapsulated by polylactide / M.P. Danilaev, S.V. Drobushhev, S.A. Karandashov, M.A. Klabukov, V.A. Kuklin // Kondensirovannyyesredyimezhfaznyegrantsy = Condensed Matter

КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ОБОЛОЧКИ ПОЛИЛАКТИДА НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДА МЕДИ (I) МЕТОДОМ ТИТРОВАНИЯ

and Interphases. 2023. № 24(1): 000-000. <https://doi.org/10.17308/kcmf.2022.24/0000>.

9. Биокоррозия синтетических пластмасс: механизмы деградации и способы защиты / В.К. Плакунов [и др.] // Микробиология. 2020. Т. 89. №. 6. С. 631–645. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44091219>.

10. Gadd G.M. & Griffiths A.J. Microorganisms and heavy metal toxicity // Microbial ecology. 1977. № 4(4). Р. 303–317. <https://doi.org/10.1007/bf02013274>.

11. Fowler L., Engqvist H. & Öhman-Mägi C. Effect of copper ion concentration on bacteria and cells // Materials. 2019. № 12(22). Р. 3798. <https://doi.org/10.3390/ma12223798>.

12. Бактерицидные и катализитические свойства стабильных металлических наночастиц в обратных мицеллах / Е.М. Егорова [и др.] // Вестник Московского университета. 2001. Серия 2. Химия. № 42(5). С. 332–338. <http://org321-9.chem.msu.ru/rus/vmgu/015/332.pdf>.

13. Formation of a Polymer Shell of a Given Thickness on Surfaces of Submicronic Particles / M.P. Danilaev, S.V. Drobyshev, M.A. Klabukov, V.A. Kuklin & D.A. Mironova // Nanobiotechnology Reports. 2021. № 16(2). Р. 162–166. <https://doi.org/10.1134/S263516762102004X>.

14. Roll G., Kaiser T. & Schweiger G. Optical trap sedimentation cell-a new technique for the sizing of micro-particles // Journal of aerosol science. 1996. № 27(1). Р. 105–117. [https://doi.org/10.1016/0021-8502\(95\)00535-8](https://doi.org/10.1016/0021-8502(95)00535-8).

15. Измерение характерного размера субмикронных частиц в технологических процессах методом светового рассеяния / М.П. Данилаев [и др.] // Нано- и микросистемная техника. 2017. № 19(7). С. 417–422. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29759579>.

16. Bewlay B.P. & Gigliotti M.F.X. Dissolution rate measurements of TiN in Ti-6242 // Actamaterialia. 1997. № 45(1). Р. 357–370. [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(96\)00098-5](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(96)00098-5).

17. Бадретдинова Л.Х., Вахидов Р.М. & Базотов В.Я. Влияние размера частиц на период релаксации электрического заряда диэлектриков // Вестник Технологического университета. 2019. № 22(8). С. 26–28. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41240248>.

18. Дифференциальный анализатор гигроскопических свойств аэрозольных частиц, осажденных на фильтр / Е.Ф. Михайлов [и др.] // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2011. № 47(6). С. 809–809.

19. Стась Н.Ф. Справочник по общей и неорганической химии, 2018.

20. Эшворт М.Р.Ф. Титриметрические методы анализа органических соединений. Москва : Химия, 1972.

21. Terayama H. Method of colloid titration (a new titration between polymer ions) // Journal of Polymer Science. 1952. № 8(2). Р. 243–253. <https://doi.org/10.1002/pol.1952.120080209>.

22. Теслер Г.С. Аддитивные аппроксимации и итеративные процессы // Математические машины и системы. 2004. № 2. С. 22–41.

23. Ильюшенко Е.В. Инкапсулирование биологически активных веществ с использованием обратных микроЭмульсий : дис. ..., М., 2012.

Информация об авторах

М. П. Данилаев – доктор технических наук, профессор кафедры «Электронных и

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 1 2023

квантовых средств передачи информации» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

Е. А. Бобина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронных и квантовых средств передачи информации» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

С. В. Дробышев – инженер-исследователь центра «прикладных нанотехнологий» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

С. А. Карадашов – инженер-исследователь междисциплинарной межвузовской лаборатории Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

В. А. Куклин – кандидат физико-математических наук, инженер-исследователь междисциплинарной межвузовской лаборатории Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

REFERENCES

1. Plakunov, V.K., Gannessen, A.V., Mart'yanov, S.V. & ZHurina, M.V. (2020). Biocorrosion of synthetic plastics: degradation mechanisms and methods of protection. *Microbiology*, 89(6), 631-645. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.31857/S0026365620060142>.
2. Anjana, K., Hinduja, M., Sujitha, K. & Dharani, G. (2020). Review on plastic wastes in marine environment Biodegradation and biotechnological solutions. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110733. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110733>.
3. Ali, S.S., Elsamahy, T., Al-Tohamy, R., Zhu, D., Mahmoud, Y.A.G., Koutra, E. & Sun, J. (2021). Plastic wastes biodegradation: mechanisms, challenges and future prospects. *Science of the Total Environment*, 780, 146590. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146590>.
4. Gautam, R., Bassi, A.S. & Yanful, E.K. (2007). A review of biodegradation of synthetic plastic and foams. *Applied biochemistry and biotechnology*, 141(1), 85-108. <http://dx.doi.org/10.1007/s12010-007-9212-6>.
5. Palza, H. (2015). Antimicrobial polymers with metal nanoparticles. *International journal of molecular sciences*, 16(1), 2099-2116. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms16012099>.
6. Mahmud, J., Sarmast, E., Shankar, S. & Lacroix, M. (2022). Advantages of nanotechnology developments in active food packaging. *Food Research International*, 1111023. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111023>.

7. Akhmadeev, A.A., Bogoslov, E.A., Danilaev, M.P., Klabukov, M.A. & Kuklin, V.A. (2020). Influence of the thickness of a polymer shell applied to surfaces of submicron filler particles on the properties of polymer compositions. *Mechanics of Composite Materials*, 56(2), 241-248. <https://doi.org/10.1007/s11029-020-09876-4>.
8. Danilaev, M.P., Drobyshev, S.V., Karandashev, S.A., Klabukov, M.A. & Kuklin, V.A. (2023). Dispersed copper (I) oxide particles encapsulated by polylactide. *Kondensirovannye sredyimezhfaznye granitsy = Condensed Matter and Interphases*. 24(1). <https://doi.org/10.17308/kcmf.2022.24/0000>.
9. Plakunov, V.K., Gannessen, A.V., Mart'yanov, S.V. & Zhurina, M.V. (2020). Biocorrosion of synthetic plastics: degradation mechanisms and methods of protection. *Microbiology*, 89(6), 631-645. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=44091219>.
10. Gadd, G.M. & Griffiths, A.J. (1977). Microorganisms and heavy metal toxicity. *Microbial ecology*, 4(4), 303-317. <https://doi.org/10.1007/bf02013274>.
11. Fowler, L., Engqvist, H. & Öhman-Mägi, C. (2019). Effect of copper ion concentration on bacteria and cells. *Materials*, 12(22), 3798. <https://doi.org/10.3390/ma12223798>.
12. Egorova, E.M., Revina, A.A., Rostovshchikova, T.N. & Kiseleva, O.I. (2001). Bactericidal and catalytic properties of stable metal nanoparticles in reverse micelles. *Bulletin of Moscow University*, 42(5), 332-338. (In Russ.). <http://org321-9.chem.msu.ru/rus/vmgu/015/332.pdf>.
13. Danilaev, M.P., Drobyshev, S.V., Klabukov, M.A., Kuklin, V.A. & Mironova, D.A. (2021). Formation of a Polymer Shell of a Given Thickness on Surfaces of Submicronic Particles. *Nanobiotechnology Reports*, 16(2), 162-166. <https://doi.org/10.1134/S263516762102004X>.
14. Roll, G., Kaiser, T. & Schweiger, G. (1996). Optical trap sedimentation cell-a new technique for the sizing of microparticles. *Journal of aerosol science*, 27(1), 105-117. [https://doi.org/10.1016/0021-8502\(95\)00535-8](https://doi.org/10.1016/0021-8502(95)00535-8).
15. Danilaev, M.P., Dorogov, N.V., Kuklin, V.A., Kurangyshev, A.V. & SHilov, N.S. (2017). Measurement of the characteristic size of submicron particles in technological processes by the method of light scattering. *Nano- and microsystems engineering*, 19(7), 417-422. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=29759579>.
16. Bewlay, B.P. & Gigliotti, M.F.X. (1997). Dissolution rate measurements of TiN in Ti-6242. *Actamaterialia*, 45(1), 357-370. [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(96\)00098-5](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(96)00098-5).
17. Badretdinova, L.H., Vahidov, R.M. & Berezov, V.YA. (2019). Influence of the particle size on the relaxation period of the dielectric electric charge. *Bulletin of University of Technology*, 22(8), 26-28. (In Russ.). <https://elibrary.ru/item.asp?id=41240248>.
18. Mihajlov, E.F., Merkulov, V.V., Vlasenko, S.S., Ryshkevich, T.I. & Pushel', U.I. (2011). Differential analyzer of hygroscopic properties of aerosol particles deposited on a filter. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physics of the Atmosphere and Ocean*, 47(6), 809-809. (In Russ.).
19. Stas', N.F. (2018). *Handbook of General and Inorganic Chemistry*. (In Russ.).
20. Ashworth, M.R.F. (1972). *Titrimetric methods of analysis of organic compounds*. Moscow.: Chemistry. (In Russ.).
21. Terayama, H. (1952). Method of colloid titration (a new titration between polymer ions). *Journal of Polymer Science*, 8(2), 243-253. <https://doi.org/10.1002/pol.1952.120080209>.
22. Tesler, G.S. (2004). Adaptive approximations and iterative processes. *Mathematical Machines and Systems*, (2), 22-41. (In Russ.).
23. Ilyushenko, E.V. (2012). Encapsulation of biologically active substances using inverse microemulsions. Extended abstract of diss. Moscow. (In Russ.).

Information about the authors

M.P. Danilaev - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Electronic and Quantum Means of Information Transmission" of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

E.A. Bobina - candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of "Electronic and Quantum Means of Information Transmission" of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

S.V. Drobyshev - research engineer, Center of "Applied Nanotechnologies", Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

S.A. Karandashev - research engineer, interdisciplinary interuniversity laboratory, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

V.A. Kuklin - candidate of physical and mathematical sciences, research engineer, interdisciplinary interuniversity laboratory, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

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

Статья поступила в редакцию 12.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 12 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 621
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.028

EDN: AJOIEL

СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОСТОЯЩИХ ИЗ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВОЙ СМОЛЫ И ТИТАНАТА БАРИЯ

Евгений Николаевич Еремин¹, Ксения Геннадьевна Кукушина²,
Евгений Анатольевич Рогачев³, Наталья Михайловна Тищенко⁴,

^{1, 2, 3} Омский государственный технический университет, Омск, Россия

¹ Eremin.46@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7357-8194>

² KukushinaKG@ckba.net, <https://orcid.org/0000-0001-9959-5670>

³ <https://orcid.org/0000-0003-2622-7492>

⁴ Nataly3110201@gmail.com

^{2, 4} Центральное конструкторское бюро автоматики, Омск, Россия

Аннотация. В работе рассмотрены перспективы получения композиционного материала на основе эпоксидно-диановой смолы с высокими диэлектрическими свойствами. Исследованы свойства композитов с разными концентрациями титаната бария от 20 до 70 % масс. Измеренные показатели диэлектрической проницаемости материала показали соответствие со значениями, рассчитанными по формуле Лихтенеккера. Изучена морфология наполнителя и композиционного материала с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM). Кроме того, изучены такие характеристики материалов, как твердость, плотность, усадка, жизнеспособность и водопоглощение. Представлена производственная технология приготовления композитов, состоящих из эпоксидно-диановой смолы и титаната бария. Изготовленные конструкционные детали из композиционных материалов на основе эпоксидно-диановой смолы полностью соответствовали техническим требованиям стандартов отрасли.

Установлено, что такой композиционный материал пригоден для изготовления конструкционных деталей, предназначенных для работы в широком диапазоне технологических и диэлектрических свойств, которые найдут применение в СВЧ-индустрии.

Ключевые слова: эпоксидно-диановая смола, титанат бария, диэлектрическая проницаемость, СВЧ-индустрия, формула Лихтенеккера, композиционный материал.

Благодарности: Авторы благодарят за содействие в выполнении данной работы руководство и специалистов – отдела главного технologа и отдела антенн и СВЧ – устройств АО «ЦКБА» – А.В. Смирнова, В.В. Жабина, Т.Н. Филатову, М.Н. Игнатьева, Г.Я. Лило, И.А. Боровика, Д.Д. Кохнюка, Г.Н. Кирносову.

Для цитирования: Свойства композиционных материалов, состоящих из эпоксидно-диановой смолы и титаната бария / Е. Н. Еремин [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 223–229. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.028. EDN: <https://elibrary.ru/AJOIEL>.

Original article

PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS CONSISTING OF EPOXY RESIN AND BARIUM TITANATE

Evgeniy N. Eremin ¹, Ksenia G. Kukushina ², Evgeniy A. Rogachev ³,
Natalia M. Tishchenko ⁴

^{1, 2, 3} Omsk State Technical University, Omsk, Russia

¹ Eremin.46@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7357-8194>

² KukushinaKG@ckba.net, <https://orcid.org/0000-0001-9959-5670>

³ <https://orcid.org/0000-0003-2622-7492>

⁴ Nataly3110201@gmail.com

^{2, 4} Central Design Bureau of Automatics, Omsk, Russia

Abstract. The paper considers the prospects for obtaining a composite material based on epoxy-diane resin with high dielectric properties. The properties of composites with different concentrations of barium titanate from 20 to 70 % wt. were studied. The measured indicators of the dielectric constant of the material showed compliance with the values calculated using the Lichtenegger formula. The morphology of the filler and composite material was studied using scanning electron microscopy (SEM). In addition, such characteristics of materials as hardness, density, shrinkage, viability and water absorption have been studied. The production technology for the preparation of composites consisting of epoxy-diane resin and barium titanate is presented. The manufactured structural parts made of composite materials based on epoxy-diane resin fully complied with the technical requirements of industry standards. It has been established that such a composite material is suitable for the manufacture of structural parts designed to operate in a wide range of technological and dielectric properties, which will find application in the microwave industry.

Keywords: epoxy-diane resin, barium titanate, dielectric constant, microwave industry, Lichtenegger formula, composite material.

Acknowledgements: The authors are grateful to the management and staff department of the main technologist and an antenna department and microwave devices – A.V. Smirnov, V.V. Jabin, T.N. Filatova, M.N. Ignatiev, G.Ja. Lilo, I.A. Borovik, D.D. Kokhnjuk, G.N. Kirnosova.

For citation: Eremin, E.N., Kukushina, K.G., Rogachev, E.A. & Tishchenko, N.M. (2023). Properties of composite materials consisting of epoxy resin and barium titanate. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 223-229. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.028. EDN: <https://elibrary.ru/AJOIEL>.

ВВЕДЕНИЕ

Системы беспроводной связи демонстрируют бурный рост и находят применение во все более широком числе продуктов связи. Материалы, применяемые в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ), играют важную роль в современной электронике, так как используются в наземных и спутниковых системах связи, таких как программное радио, GPS, TV, интернет, анализ состояния окружающей среды, мобильная связь, сеть радиочастотной идентификации и т.д. [1]. Развитие данной отрасли неразрывно связано с разработкой новых материалов с улучшенными специфическими свойствами. Так, в радиоэлектронике диэлектрические свойства таких материалов определяют технический уровень разрабатываемой сложной элек-

тронной аппаратуры. Кроме того, ключевыми требованиями для изделий из СВЧ-материалов являются: малый размер, простота и технологичность изготовления, значительный ресурс эксплуатации и, конечно же, низкая стоимость [2, 3]. Полимерные композиционные материалы становятся в последние годы все более востребованными, так как они могут легко сочетать в себе комбинации многих свойств. Полимерная основа отвечает за эксплуатационные свойства и технологичность переработки, а такие свойства материалов, как диэлектрическая проницаемость, твердость, водопоглощение, обеспечиваются наполнителями [4]. Расчет диэлектрической проницаемости композиционных систем проводится по формуле Лихтенеккера [5]. Зная диэлектрические проницаемости основы и

СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОСТОЯЩИХ ИЗ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВОЙ СМОЛЫ И ТИТАНАТА БАРИЯ

наполнителя и их доли в материале, можно смоделировать диэлектрическую проницаемость композита

$$\ln \varepsilon = \nu_1 \ln \varepsilon_1 + \nu_2 \ln \varepsilon_2, \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – диэлектрическая проницаемость 1-го и 2-го компонентов соответственно;

ν_1, ν_2 – объемные доли 1-го и 2-го компонентов соответственно.

Обычно при производстве спиральных антенн для изготовления корпуса используется пресс-материал с диэлектрической проницаемостью 4,4–4,5 [6]. Однако в нижней части рабочего диапазона частот коэффициент усиления спиральных антенн с указанным корпусом недостаточно высокий по сравнению с коэффициентом усиления в области более высоких частот. Поэтому для расширения рабочего диапазона антенны в области низких частот при сохранении минимальности габаритов необходимо использование материалов с повышенной диэлектрической проницаемостью.

В работе [7] описаны встроенные пленочные конденсаторы на полимерной основе, где в качестве наполнителя использовался титанат бария. Показано, что данным наполнителем можно варьировать показатель диэлектрической проницаемости. Однако такой материал подходит только для изготовления изделий методом нанесения на пленку, и его невозможно использовать как конструкционный. В ранее выполненной работе [8] рассмотрен конструкционный композит, получаемый введением титаната бария в прессовочный материал. Показано, что данный наполнитель повышает диэлектрическую проницаемость. Однако ее максимальное значение ограничивается технологическими трудностями введения большего количества наполнителя.

Вышеизложенное указывает на то, что разработка новых материалов для изготовления СВЧ-устройств является актуальной задачей.

В связи с вышеперечисленным, целью данного исследования являлось получение конструкционных композиционных материалов с улучшенными диэлектрическими и технологическими характеристиками и исследование их свойств.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является заливочный композиционный материал, состоящий из эпоксидно-диановой смолы и титаната бария.

Использовалась эпоксидно-диановая

смола марки ЭД-20 с содержанием эпоксидных групп 21 % [9].

В качестве отвердителя использовали аминовый – полиэтиленполиамин (ПЭПА) [10].

В качестве наполнителя композиционного диэлектрического материала был выбран титанат бария BaTiO_3 (БТ), поскольку он используется и в других композиционных материалах для повышения диэлектрической проницаемости, кроме того он доступен и дешев [11].

Исходный наполнитель просушили при температуре $(110 \pm 10)^\circ\text{C}$ в течение 3 часов в сушильном шкафу и охладили до комнатной температуры. Далее эпоксидную смолу прогрели при температуре $(120 \pm 10)^\circ\text{C}$ в течение 1 часа для повышения ее текучести и удаления влаги. После этого смолу смешивали с различными соотношениями титаната бария с целью получения композитов – эпоксидно-диановых, наполненных титанатом бария (ЭД-БТ). В готовую смесь добавляли соответствующее количество аминного отвердителя при равномерном перемешивании.

Таким образом, было получено 8 составов с содержанием наполнителя от 20 до 70 % масс. Наполнение 70 % масс. BaTiO_3 является максимальным, так как трудно обеспечить дальнейшее введение наполнителя и заливку такого композита.

Далее методом заливки в форму изготовлены пластины для проверки свойств материалов с различным содержанием титаната бария. Составы представляли собой гомогенные массы с хорошей текучестью и жизнеспособностью, они равномерно заполняют даже конструктивно сложные формы.

Морфология наполнителя и композиционного диэлектрического материала ЭД-БТ анализировалась с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM) на растровом электронном микроскопе JEOL JCM-5700 (Япония) при ускоряющем напряжении электронного пучка 5 кВ.

Теоретический расчет предполагаемой диэлектрической проницаемости композитов производили по формуле Лихтенеккера.

Экспериментальное определение диэлектрических свойств образцов композитов ЭД-БТ проводили в Х-диапазоне СВЧ. Для этого использовался измеритель модуля коэффициента передачи и отражения Р2М-18 в режиме измерения КСВН, нагрузка согласованная, волновод 10×23 мм. Размеры исследуемых образцов: 23 мм \times 10 мм и высотой от 4 до 10 мм.

Определение усадки образцов проводилось в соответствии с ГОСТ 34206-2017 [12].

Водопоглощение образцов определя-

лось в соответствии с ГОСТ 4650-2014 (ISO 62:2008) [13].

Твердость образцов измеряли твердомером ТН 210 на испытательном стенде «TIME High Technology Ltd.». Измерения проводились в соответствии с ГОСТ 24621-2015 (ISO 868:2003) «Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору)», нагрузка – 44,1 Н [14].

Также определялась жизнеспособность композитов как одна из важных технологических характеристик в соответствии ОСТ 4Г 0.054.210-83 [15].

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований была про-

ведена с применением программного продукта «STATIC-2» [16]. Значения свойств композиционного материала были определены исходя из трех измерений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Итогами проведенной работы по исследованию свойств композиционного материала явились следующие результаты.

Структуры частиц порошка титаната бария представлены на рисунке 1. При детальном изучении структуры установлено, что частицы порошка имеют каплевидную (овальную) форму, а размер частиц варьируется от 1 до 5 мкм. Наблюдалось также образование агломератов и различных скоплений данных частиц.

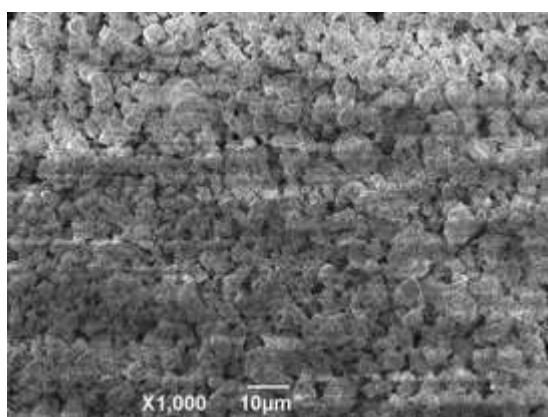


Рисунок 1 – SEM морфология порошка BaTiO₃

Figure 1 - SEM morphology of BaTiO₃ powder

На рисунке 2 представлено SEM изображение композиционного материала ЭД-БТ с максимальным содержанием титаната бария – 70 % масс. Серые частицы – это частицы титаната бария, а черные участки – это эпоксидная смола. Наблюдается равномер-

Таблица 1 – Технологические свойства композиционных материалов ЭД-БТ

Table 1 - Technological properties of composite materials ED-BT

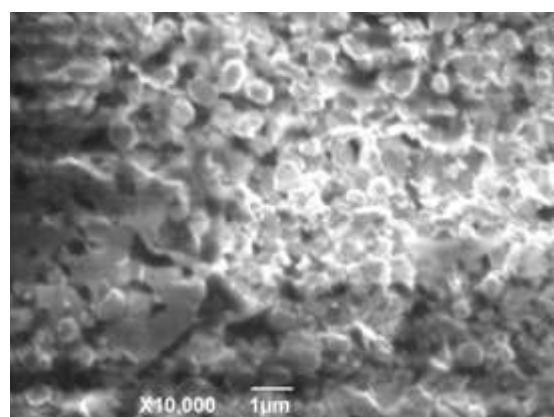


Рисунок 2 – SEM морфология композиционного материала ЭД-БТ с 70 % масс. БТ

Figure 2 - SEM morphology of the composite material ED-BT with 70% wt. BT

ное распределение частиц БТ в эпоксидной смоле.

Основные технологические свойства исследуемых составов материала представлены в таблице 1.

№ п/п	Состав композиционного материала, % масс	Нпо Шору, HD	w, %	u, %	T, мин	ρ, г/см ³
1	ЭД-20+ПЭПА+20 БТ	84,0	0,08	0,3	60	1,44
2	ЭД-20+ПЭПА+25 БТ	85,8	0,08	0,3	60	1,49
3	ЭД-20+ПЭПА+30 БТ	88,0	0,07	0,2	50	1,55
4	ЭД-20+ПЭПА+35 БТ	88,9	0,05	0,2	50	1,64
5	ЭД-20+ПЭПА+40 БТ	89,2	0,04	0,2	40	1,74
6	ЭД-20+ПЭПА+50 БТ	89,4	0,04	0,2	40	1,82
7	ЭД-20+ПЭПА+60 БТ	89,8	0,03	0,2	30	2,05
8	ЭД-20+ПЭПА+70 БТ	91,3	0,03	0,2	30	2,13

Н – твердость; w – водопоглощение; u – усадка; Т – жизнеспособность; ρ – плотность

СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОСТОЯЩИХ ИЗ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВОЙ СМОЛЫ И ТИТАНАТА БАРИЯ

Исходя из данных таблицы 1 следует, что с введением титаната бария в композиционный материал показатель твердости повышается практически линейно от 84 до 91 HD, достигая максимума при наполнении 70 % масс.

Так как полимерные материалы имеют достаточно большое число пор, то они способны поглощать влагу даже из воздуха, в результате чего ухудшаются их диэлектрические свойства. Поэтому было оценено влияние влаги на исследуемые композиционные материалы. Установлено, что показатели водопоглощения (адсорбия воды) имеют достаточно низкие значения и с увеличением количества титаната бария уменьшается от 0,08 до 0,03 %. Следовательно, все составы композита можно считать гидрофобными материалами, что позволяет их использовать при более жестких условиях эксплуатации.

При изготовлении деталей из полимерных композитов важным параметром является технологическая усадка материалов. Данный параметр может изменяться в широких пределах и зависит от наполненности материала. Так, прессовочные материалы имеют усадку порядка 0,5–3 %, а ормокеры (композиты, в состав которых входят керамические частицы) – 1,7–2 %. В данном исследовании полимеризационная усадка определялась по разности между размерами отформованной детали и полости формы для ее заливки. Как видно из таблицы 1, усадка уменьшается от 0,3 до 0,2 %, что дает возможность обеспече-

Таблица 2 – Диэлектрические проницаемости композиционных материалов ЭД-БТ при $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$

Table 2 - Dielectric constants of ED-BT composite materials at $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$

№ п/п	Состав композиционного материала, % масс	Диэлектрическая проницаемость расчетная	Диэлектрическая проницаемость измеренная
1	ЭД-20+ПЭПА+20 БТ	5,03	5,2
2	ЭД-20+ПЭПА+25 БТ	5,44	5,4
3	ЭД-20+ПЭПА+30 БТ	5,98	6,0
4	ЭД-20+ПЭПА+35 БТ	6,50	6,4
5	ЭД-20+ПЭПА+40 БТ	7,80	7,2
6	ЭД-20+ПЭПА+50 БТ	9,50	9,2
7	ЭД-20+ПЭПА+60 БТ	11,0	10,2
8	ЭД-20+ПЭПА+70 БТ	14,6	11,3

Исходя из данных таблицы 2 видно, что диэлектрическая проницаемость композитов возрастает с повышением концентрации BaTiO_3 . Спрогнозированная диэлектрическая проницаемость композитов ЭД-БТ увеличивается от 5,03 до 14,6, а измеренная – от 5,2 до 11,3 при повышении концентрации наполнителя от 20 до 70 % масс. Как видно,

измеренные значения проницаемости согла-
суются с рассчитанными по правилу логарифмического смешения Лихтенеккера. В то же время следует отметить, что при высоких концентрациях наполнителя заливочная мас-
са становится более густой и пузырькам воз-
духа труднее выйти на поверхность. В ре-
зультате в образцах с высокой концентраци-
ией стабильных габаритных размеров даже
конструктивно сложных деталей.

При разработке технологии изготовле-
ния деталей из полимерных материалов необ-
ходимо знать, в течение какого времени
может сохраняться приготовленный компози-
ционный материал. Поэтому одной из важных
характеристик является жизнеспособность,
под которой понимается период времени, в
течение которого приготовленная композиция
не теряет своих технологических свойств, т.е.
остается в вязко-текучем состоянии и может
быть использована для заливки деталей. Таким
образом, жизнеспособность композиционных
материалов характеризуется временем потери
текучести композиции после совмещения ее с
отверждающими добавками. Жизнеспособность
композитов ЭД-БТ варьируется от 30 до
60 мин при различной концентрации компонен-
тов, то есть данный материал можно успешно
использовать для изготовления деталей мето-
дом заливки в форму.

Важным физическим свойством компо-
зиционных материалов является их плот-
ность, представляющая собой отношение
массы детали к занимаемому объему. Уста-
новлено, что плотность исследуемых компози-
тив по мере наполнения материала изме-
няется линейно от 1,44 до 2,13 г/см³.

Значения диэлектрической проницаемо-
сти полученных образцов композитов с со-
держанием наполнителя BaTiO_3 от 20 до
70 % масс, измеренные в X-диапазоне СВЧ,
представлены в таблице 2.

измеренные значения проницаемости согла-
суются с рассчитанными по правилу логарифмического смешения Лихтенеккера. В то же время следует отметить, что при высоких концентрациях наполнителя заливочная мас-
са становится более густой и пузырькам воз-
духа труднее выйти на поверхность. В ре-
зультате в образцах с высокой концентраци-
ией стабильных габаритных размеров даже
конструктивно сложных деталей.

При разработке технологии изготовле-
ния деталей из полимерных материалов необ-
ходимо знать, в течение какого времени
может сохраняться приготовленный компози-
ционный материал. Поэтому одной из важных
характеристик является жизнеспособность,
под которой понимается период времени, в
течение которого приготовленная композиция
не теряет своих технологических свойств, т.е.
остается в вязко-текучем состоянии и может
быть использована для заливки деталей. Таким
образом, жизнеспособность композиционных
материалов характеризуется временем потери
текучести композиции после совмещения ее с
отверждающими добавками. Жизнеспособность
композитов ЭД-БТ варьируется от 30 до
60 мин при различной концентрации компонен-
тов, то есть данный материал можно успешно
использовать для изготовления деталей мето-
дом заливки в форму.

Важным физическим свойством компо-
зиционных материалов является их плот-
ность, представляющая собой отношение
массы детали к занимаемому объему. Уста-
новлено, что плотность исследуемых компози-
тив по мере наполнения материала изме-
няется линейно от 1,44 до 2,13 г/см³.

Значения диэлектрической проницаемо-
сти полученных образцов композитов с со-
держанием наполнителя BaTiO_3 от 20 до
70 % масс, измеренные в X-диапазоне СВЧ,
представлены в таблице 2.

ей наполнителя образуется больше пор. Поскольку ϵ воздуха ≈ 1 , следовательно, измеренная диэлектрическая проницаемость композитов с высоким наполнением меньше теоретически рассчитанной. Это и наблюдается в составах 7 и 8. Видно, что с повышением концентрации наполнителя с 60 до 70 % масс. измеренная диэлектрическая проницаемость состава ниже спрогнозированной примерно на 20 %.

Из композиционного диэлектрического материала состава 8 ЭД-БТ были изготовлены конструкционные детали методом заливки в форму. Изготовленные детали не имели внешних дефектов: трещин, расслоений – и соответствовали техническим требованиям. Вместе с этим изготовленные детали из материала ЭД-БТ подвергаются механической обработке без каких-либо затруднений. Также стоит отметить, что применяемый в настоящее время в производстве прессовочный материал требует термической обработки деталей при температуре 160 °C в течение 8 часов. Поэтому применение нового материала ЭД-БТ и технологии заливки имеет значимые преимущества, поскольку также позволяет сократить еще технологический цикл изготовления деталей.

Таким образом, полученные композиционные материалы, состоящие из эпоксидно-диановой смолы, показывают как высокие диэлектрические, так и эксплуатационные свойства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что с повышением концентрации титаната бария от 20 до 70 % масс. в составе эпоксидно-диановых композитов теоретически рассчитанные значения диэлектрической проницаемости изменяются от 5,03 до 14,6, а измеренные аналогичные показатели данных составов – от 5,2 до 11,3, что свидетельствует о возможности использования формулы Лихтенеккера для прогнозирования диэлектрических свойств таких материалов в X-диапазоне СВЧ.

Полученные результаты показывают целесообразность использования, полученного композиционного диэлектрического материала и технологии для изготовления конструкционных деталей СВЧ-устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sebastian M.T. Dielectric Materials for Wireless Communication. Elsevier, 2008. 688 p.
2. Корякова З.В. Керамические материалы в СВЧ-технике // Компоненты и технологии. 2011. № 5. С. 184–186.
3. Влияние титаната бария на электрофизические характеристики термореактивного материала / К.Г. Кукушина [и др.] // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2021. Т. 4. № 4. С. 301–307.
4. Исследование влияния дисперсности функциональных частиц карбонильного железа на радиопоглощающие характеристики композита на их основе / И.Д. Краев [и др.] // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 1. С. 51–60.
5. Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков / И.Г. Гуртовник [и др.] Москва : Мир, 2002. 368 с.
6. Антенный элемент и способ его изготовления: пат. 2293406 Рос. Федерация № 2005111490/09; заявл. 18.04.2005; опубл. 10.02.2007, Бюл. № 4.
7. Study on epoxy / BaTiO₃ composite embedded capacitor films (ECFs) for organic substrate applications / S.-D. Cho [et al.] // Materials Science and Engineering B. 2004. 110. p. 233–239. DOI:10.1016/j.mseb.2004.01.022.
8. Кукушина К.Г., Еремин Е.Н., Тищенко Н.М., Кохнюк Д.Д. Влияние титаната бария на диэлектрическую проницаемость эпоксидного пресс-материала // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. Вып. 3. Севастополь, 2021. С. 205–206.
9. ГОСТ 10587-84 Смолы эпоксидно-диановые неотверженные. Технические условия: введ. 06.02.84. Москва, 1989.
10. ТУ 2413-357-00203447-99 Полиэтиленполиамин. Технические условия: введ. 04.01.99. Москва, 1999.
11. ТУ 20.59.59-057-48591565-2018 Барий титанат для конденсаторов: введ. 04.01.2018. Москва, 2018.
12. ГОСТ 34206-2017 Пластмассы. Метод определения усадки термореактивных материалов: введ. 07.09.2017. Москва, 2017.
13. ГОСТ 4650-2014 (ISO 62:2008) Пластмассы. Методы определения водопоглощения: введ. 29.05.2014. Москва, 2014.
14. ГОСТ 24621-2015 (ISO 868:2003) Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору): введ. 20.11.2015. Москва, 2015.
15. ОСТ 4Г 0.054.210-83 Отраслевой стандарт. Склейивание металлических и неметаллических материалов. 1983, Москва.
16. Вершинин В.И., Перцев Н.В. Планирование и математическая обработка результатов химического эксперимента. Омск : Изд-во ОмГУ, 2005. 216 с.

Информация об авторах

Е. Н. Еремин – доктор технических наук, декан Машиностроительного института, профессор Омского государственного технического университета.

К. Г. Кукушина – инженер-технолог I кат. сектора новых материалов и технологий Центрального конструкторского бюро автоматики, г. Омск, Российская Федерация; аспирант IV курса кафедры «Машиностроение и материаловедение» Омского

СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОСТОЯЩИХ ИЗ ЭПОКСИДНО-ДИАНОВОЙ СМОЛЫ И ТИТАНАТА БАРИЯ

государственного технического университета.

Е. А. Рогачев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика» Омского государственного технического университета.

Н. М. Тищенко – ведущий инженер-технолог сектора новых материалов и технологий Центрального конструкторского бюро автоматики.

REFERENCES

1. Sebastian, M.T. (2008). *Dielectric Materials for Wireless Communication*. Elsevier.
2. Korjakova, Z.V. (2011). Ceramic materials in microwave technology. Components and technologies. (5), 184-186. (In Russ.).
3. Kukushina, K.G., Eremin, E.N., Tishchenko, N.M. & Kokhniuk, D.D. (2021). The influence of barium titanate on the electrophysical characteristics of a thermosetting material. *Infocommunications and Radio Technologies*, (4), 301-307. (In Russ.).
4. Kraev, I.D., Govorov, V.A., Shirokov, V.V. & Shashkeev, K.A. (2017). Study of the Effect of Dispersion of Functional Carbonyl Iron Particles on the Radio Absorbing Characteristics of a Composite Based on Them. *Aviation materials and technologies*, (1), 51-60.
5. Gurtovnik, I.G., Sokolov, V.N., Trofimov, N.N. & Shalgunov, S.I. (2002). *Radiotransparent fiberglass products*. Moscow: Mir. (In Russ.).
6. Korotkova, L.A., Korobejnikov, G.V. & Zaiceva, N.V. (2007). Antenna element and method for its manufacture. Pat. 2293406. Russian Federation, published on 10.02.2007. Bull. No. 4. (In Russ.).
7. Cho, S.-D., Lee, J.-Y., Hyun, J.-G. & Paik, K.-W. (2004). Study on epoxy / BaTiO₃ composite embedded capacitor films (ECFs) for organic substrate applications. *Materials Science and Engineering B*, (110), 233-239. DOI:10.1016/j.mseb.2004.01.022.
8. Kukushina, K.G., Eremin, E.N., Tishchenko, N.M. & Kokhniuk, D.D. (2021). Influence of barium titanate on the dielectric constant of epoxy press material. *Microwave engineering and telecommunication technologies*, (3), 205-206. (In Russ.).
9. Resins epoxy-diane uncured. Specifications. (1984). GOST 10587-84 from 6 Feb. 1984. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
10. Polyethylenepolyamines. Specifications. (1999) TC 2413-357-00203447-99 from 4 Jan 1999. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
11. Barium titanate for capacitors. (2018). TC 20.59.59-057-48591565-2018 from 4 Jan. 2018. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
12. Plastics. Method for determining the shrinkage of thermosetting materials. (2017). GOST 34206-2017 from 7 Sep. 2017. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
13. Plastics. Methods for determining water absorption. (2014). GOST 4650-2014 (ISO 62:2008) from 29 May 2014. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
14. Plastics and ebonite. Determination of indentation hardness with a durometer (Shore hardness). (2015). GOST 24621-2015 (ISO 868:2003) from 20 Nov. 2015. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
15. Bonding of metallic and non-metallic materials. (1983). OST 4G 0.054.210-83 from 1983. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
16. Vershinin, V.I. & Percev, N.V. (2005). *Planning and mathematical processing of the results of a chemical experiment*. Omsk: Publishing house Omsk University. (In Russ.).

Information about the authors

E.N. Eremin - Doctor of Technical Sciences, Dean of the Mechanical Engineering Institute, Professor of the Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation.

K.G. Kukushina - engineer-technologist I cat. sector of new materials and technologies of the Central Design Bureau of Automatics, Omsk, Russian Federation; 4th year postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation.

E.A. Rogachev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Physics, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation.

N.M. Tishchenko - Leading engineer-technologist of the sector of new materials and technologies of the Central Design Bureau of Automatics, Omsk, Russian Federation.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 07 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПОЛНЕННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ЛОКАЛЬНЫХ БИНАРНЫХ ШАБЛОНОВ

Наталья Николаевна Минакова

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия
minakova@asu.ru

Аннотация. Резистивные полимерные композиционные материалы применяются в электроэнергетике, электрофизике и т.д. Неоднородная структура таких материалов, определяющая их свойства, затрудняет прогнозирование характеристик. Поэтому актуален поиск новых подходов к оценке свойств резистивных полимерных композиционных материалов

Рассматриваются резистивные полимерные композиционные материалы на основе каучуков с модификацией поверхности технического углерода, в которые свойства во многом формируются за счет регулирования степени агломерирования технического углерода и межфазных взаимодействий между электропроводящим и связующим компонентами. Предложена оценка действия этих эффектов на структуру материалов по гистограммам текстур изображения макроструктуры с использованием метода локальных бинарных шаблонов. Применялись одноканальная и трехканальная (модель RGB) гистограммы. Для сравнения гистограмм структур рассчитывались расстояния Бхаттачария и Кульбака–Лейблера. Показана корректность их применения к изображениям структур, наполненных техническим углеродом каучуков для оценки величины объемного электрического сопротивления и его изменения при эксплуатационных воздействиях (температура, агрессивная среда, сжимающая нагрузка). Сделан вывод о том, что использование в расчетах расстояния Кульбака–Лейблера при сравнении изображений структур лучше отражает динамику электрофизических характеристик материалов при рассмотренных эксплуатационных воздействиях, чем сравнение гистограмм по расстоянию Бхаттачария.

Ключевые слова: изображение макроструктуры, полимерные композиционные материалы, наполненные техническим углеродом каучуки, модифицированный технический углерод, текстурный анализ, объемное электрическое сопротивление, метод локальных линейных шаблонов, гистограммы яркости, расстояние Бхаттачария, расстояние Кульбака–Лейблера.

Для цитирования: Минакова Н. Н. Оценка электрофизических характеристик наполненных модифицированным техническим углеродом композиционных материалов с помощью метода локальных бинарных шаблонов // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 230–236. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.029. EDN: <https://elibrary.ru/GQAEUO>.

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПОЛНЕННЫХ
МОДИФИЦИРОВАННЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ЛОКАЛЬНЫХ БИНАРНЫХ ШАБЛОНОВ

Original article

**EVALUATION OF ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS
ILLED WITH MODIFIED TECHNICAL
CARBON COMPOSITE MATERIALS WITH THE HELP OF
THE METHOD OF LOCAL BINARY TEMPLATES**

Natalia N. Minakova

Altai State University, Barnaul, Russiaminakova@asu.ru

Abstract. Resistive polymer composite materials are used in electrical power engineering, electrophysics, etc. The heterogeneous structure of such materials, determining their properties, makes it difficult to predict the characteristics. Therefore, it is relevant to search for new approaches to assessing the properties of resistive polymer composite materials

Resistive polymer composite materials based on rubbers with modification of the carbon black surface are considered, in which properties are largely formed by regulating the degree of agglomeration of carbon black and interphase interactions between electrically conductive and binding components. An assessment of the effect of these effects on the structure of materials by histograms of textures of macrostructure images using the method of local binary templates is proposed. Single-channel and three-channel (RGB model) histograms were used. To compare histograms of structures, the distances of Bhattacharya and Kulbak-Leibler were calculated. The correctness of their application to images of structures filled with technical carbon rubbers for estimating the volume electrical resistance and its changes under operating influences (temperature, aggressive environment, compressive load) is shown. It is concluded that the use of the Kulback-Leibler distance in the calculations when comparing the images of structures better reflects the dynamics of the electrophysical characteristics of materials under the considered operational impacts than the comparison of histograms by the Bhattacharya distance.

Keywords: macrostructure image, polymer composite materials, technical carbon-filled rubbers, modified technical carbon, textural analysis, volumetric electrical resistance, local linear pattern method, brightness histograms, Bhattacharya distance, Kulback-Leibler distance.

For citation: Minakova, N.N. (2023). Evaluation of electrophysical characteristics filled with modified technical carbon composite materials with the help of the method of local binary templates. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 230-236. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.029. EDN: <https://elibrary.ru/GQAEUO>.

Полимерные композиционные материалы с электропроводящими наполнителями применяются в различных устройствах [1, 2, 3]. Это требует регулирования электрофизических и механических характеристик. Разработка композиционных материалов с заданными свойствами затрудняется невозможностью корректного математического описания структуры из-за разнообразных физико-химических взаимодействий, реализующихся в многокомпонентной структуре. Для прогнозных оценок применяются различные методы и средства, например, микроскопические снимки структуры композиционных материалов. Информативные признаки и средства классификации по ним выбираются в зависимости от характеристик структуры.

Для изучения микрофотографий структуры наполненных техническим углеродом

каучуков применялся текстурный анализ [4]. Использованы текстурные признаки изображения, полученные на основании матрицы смежности интенсивностей пикселей изображения структуры [4]. Такой подход связан с высокой вычислительной сложностью.

Особенное затруднение вызывает оценка свойств наполненных техническим углеродом каучуков из-за его способности к агломерированию. Проблемы при анализе микрофотографий вызывает также оценка вклада в формирование свойств межфазных взаимодействий, имеющих место в многокомпонентной среде [5]. Проведенные эксперименты подтверждают, что микрофотографии материалов, слабо отличающиеся по внешнему виду, имеют большие различия по электрофизическим и механическим характеристикам [2, 6].

Представляло интерес расширить инструментарий для оценки совместного действия эффектов агломерирования и межфазных взаимодействий по микрофотографиям структуры, упростив методику оценки и уменьшив вычислительную сложность.

В [7] на модельных структурах показано, что применение метода локальных бинарных шаблонов для оценки текстуры изображения позволяет учесть способность электропроводящего наполнителя к агломерированию.

Влияние на структуру композиционного материала агломерирования и межфазных взаимодействий формируется исходными компонентами и технологическим процессом [2, 6]. В работах [4, 6] показано, что агломерирование и межфазные взаимодействия можно регулировать модификацией поверхности технического углерода, полученного серийным способом. Это связано с тем, что поверхность имеет значительную энергетическую неоднородность, что влияет на способность технического углерода вступать во взаимодействие со связующей основой. Такое влияние является функцией поверхностной энергии технического углерода и энергии когезии полимера [8, 9]. Структура поверхностного слоя зависит от вида модификации [9, 10, 11].

Исследования проводились на материалах с модифицированной поверхностью технического углерода. Применена модификация поверхности технического углерода, полученного промышленным способом, за счет ее предварительной обработки. Это позволяет практически не расходовать время на отработку технологии (достаточно рабочей корректировки). Модификация технического углерода недорога и технологически сравнительно легко выполняется [8].

В качестве объектов исследования выбраны наполненные техническим углеродом каучуки, в которых использовался технический углерод с различными модификациями поверхности. Поверхности технического углерода изменялись за счет термообработки в окислительной среде при температуре 400 °C в течение 10 минут и обработки раствором ацетона при концентрации С = 0,10 %. Термообработка, согласно [12], изменяет количество носителей заряда в частицах технического углерода. Обработка растворителем может улучшить диспергирование [6]. Кроме того, ацетон, как полярный растворитель, способен убрать полярные вещества, находящиеся на поверхности частиц технического углерода [8].

Исследовались микрофотографии материалов при концентрации электропроводящего наполнителя 80 весовых частей на 100 весовых частей (в.ч.) каучука. Анализировались

16 микрофотографий для каждого материала. На рисунке 1 представлены микрофотографии материала на основе бутилкаучука (БК-2055), технический углерод П-514.

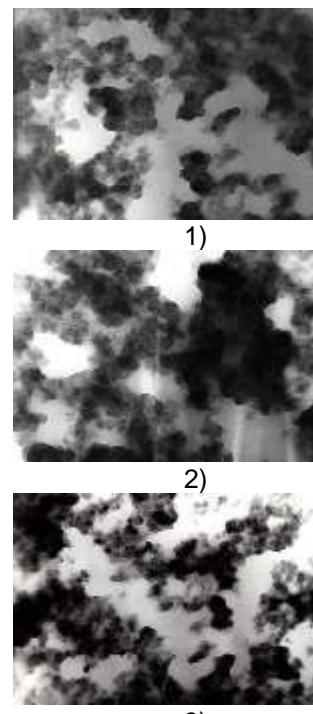


Рисунок 1 – Электронно-микроскопические снимки (увеличение 32000): связующее БК-2055, 80 в.ч. на 100 в. ч. электропроводящий компонент П-514: 1) исходный; 2) термообработка в окислительной среде; 3) обработка раствором ацетона

Figure 1 - Electron microscopic images (magnification 32000): binder BK-2055, 80 V.h per 100 V. h. electroconducting component P-514: 1) initial, 2) heat treatment in an oxidizing Medium, 3) treatment with acetone solution

Для выбора информативных характеристик было предположено, что межфазные взаимодействия влияют на спектр градаций серого, что может отражаться на массиве значений яркости пикселей в изображении структуры. Уровень яркости можно отследить по контрастной характеристике текстуры изображения методом локальных бинарных шаблонов

Результаты расчета по микрофотографиям сопоставлялись с электрофизическими характеристиками материалов.

Использовались резисторы – образцы диаметром 0,03 м, высотой 0,05 м. Измерение величин объемного электрического сопротивления (ρ_v) и температурного коэффициента сопротивления (ТКС, $1/^\circ\text{C}$) выполнялись по стандартным методикам [2]. Количество образцов на точку при испытаниях опре-

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПОЛНЕННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ЛОКАЛЬНЫХ БИНАРНЫХ ШАБЛОНОВ

делялось по дисперсии исследуемого признака при предельной ошибке не более 5 % и составляло не менее 12 штук. Результаты представлены на рисунках 2–3.

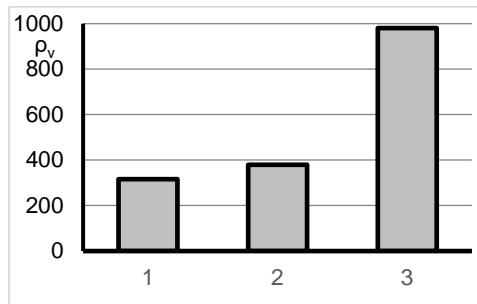


Рисунок 2 – Зависимость величины ρ_v от характеристик модификации поверхности технического углерода П-514: 1) исходный; 2) термообработка в окислительной среде; 3) обработка раствором ацетона. БК-2055, 80 в.ч. на 100 в.ч. П-514

Figure 2 - Dependence of the value of ρ_v on the characteristics of the modification of the surface of carbon black P-514: 1) initial, 2) heat treatment in an oxidizing medium, 3) treatment with acetone solution. BK-2055, 80 V.h. on 100 V. h. P-514

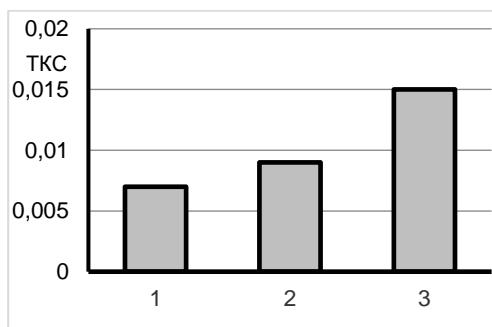


Рисунок 3 – Зависимость температурного коэффициента сопротивления от характеристик модификации поверхности технического углерода. П-514: 1) исходный; 2) термообработка в окислительной среде; 3) обработка раствором ацетона, С = 0,10 %. БК-2055, 80 в.ч. на 100 в.ч. П-514

Figure 3 - Dependence of the temperature coefficient of resistance on the characteristics of the modification of the surface of the technical electrode. P-514: 1) initial, 2) heat treatment in an oxidizing medium, 3) treatment with acetone solution, C = 0.10%. BK-2055, 80 V. h. per 100 V. h. P-514

Анализировалась величина объемного электрического сопротивления при эксплуатационных воздействиях, так как межфазные взаимодействия неаддитивно формируются

под действием эксплуатационных факторов.

Экспериментально определялись:

- изменение величины объемного электрического сопротивления при деформации сжатия ($\Delta\rho_v$, %);
- изменение величины объемного электрического сопротивления при старении в трансформаторном масле ($\Delta\rho_{v,тр.м.}$, %).

Диапазон температур при определении температурного коэффициента сопротивления составлял +20 – +200 °C. Период времени для анализа изменения величины ρ_v в трансформаторном масле – один год (8760 часов). Величина сжимающей нагрузки определялась в атмосферах ($P = 12$ атм). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика объемного электрического сопротивления материалов при эксплуатационных воздействиях

Table 1 - Dynamics of the volumetric electrical resistance of materials under operational influences

Обработка технического углерода (П514)	$\Delta\rho_v, \%$	$\Delta\rho_{v,тр.м.}, \%$
Исходный	208	178
Окисл. среда, 400°, 10минут	215	192
Ацетон, С = 0,10 %	235	226

Сравнение изображений выполнялось с помощью локальных бинарных шаблонов (LBP). Подход позволяет уменьшить вклад возможных разных условий по освещенности и повороту образца при получении изображения [13, 14]. Распределение кода позволяет описывать текстуру по информации об изменении яркости на изображении [15].

Базовый оператор LBP описывает окрестности пикселя изображения как восьмиразрядный бинарный код [15]. Значение интенсивности центрального пикселя принимается в качестве порога. Сравниваются интенсивности центрального пикселя со значениями интенсивностей пикселей окрестности. На основе полученных бинарных кодов формируются гистограммы – векторы признаков участка изображения определенной интенсивности [13, 14]. Каждый шаблон несет в себе информацию о соседних точках [16].

Для расчетов разработана программа ЭВМ на языке Python с использованием функций библиотеки Open CV. Изображения унифицировались: при необходимости автоматически преобразовывались до требуемых размеров с помощью возможности библиотеки

Open CV (метод билинейной интерполяции) [17].

Обработка выполнялась с помощью Open CV по методике, изложенной в [7]. Изображения представлялись в рамках одноканальной и трёхканальной гистограмм (цветовой модели RGB – комбинации 3 основных цветов Red (красный), Green (зелёный), Blue (синий)) [18].

Для оценки сходства изображений применены функции сравнения гистограмм изображений, указанные далее (меньше значение указывает на лучше соответствие структур).

Взвешенное расстояние Кульбака–Лейблера в симметричной форме вычислялось по формуле [19]:

$$d(H_1, H_2) = \sum_I H_1(I) \log \left(\frac{H_1(I)}{H_2(I)} \right)$$

где H_1 , H_2 – сравниваемые гистограммы изображений.

Расстояние Бхаттачария [20]:

$$d_b(H_1, H_2) = \sqrt{1 - \frac{\sum_i \sqrt{H_1(i) \cdot H_2(i)}}{\sum_i H_1(i) + \sum_i H_2(i)}},$$

где H_1 и H_2 – сравниваемые гистограммы, $H_1(i)$ и $H_2(i)$ – элементы соответствующих гистограмм с номером i .

Полученные результаты представлены в таблицах 2–3.

Таблица 2 – Сравнение объектов исследования с помощью одноканальных гистограмм

Table 2 - Comparison of research objects using single-channel histograms

Изображения (номер по рис. 1)	Сравнение с помощью вычисления расстояний	
	Бхаттачария	Кульбака– Лейблера
1 2	0,2469	12443
2 3	0,2770	14579
1 3	0,387	27599

Сравнение диапазонов изменений одноканальной и трёхканальной гистограмм (табл. 2, 3) показывают, что при использовании расстояния Кульбака–Лейблера для трёхканальной гистограммы разница фиксируется больше, и ближе соответствует разнице в свойствах (табл. 1).

В рассматриваемых материалах реализуются два эффекта – агломерирование наполнителя и межфазное взаимодействие. Поэтому представляло интерес сопоставить

данные, полученные на выбранных объектах исследования, с данными, полученными в [7] для структур, моделирующих эффект агломерирования технического углерода (табл. 4).

Таблица 3 – Сравнение объектов исследования с помощью трёхканальных гистограмм

Table 3 - Comparison of research objects using three-channel histograms

Изображения (номер по рис. 1)	Сравнение с помощью вычисления расстояний	
	Бхаттачария	Кульбака– Лейблера
1 2	0,1630	8325
2 3	0,1748	9275
1 3	0,2446	17898

Данные получены для изображений, полученных в рамках имитационной модели, учитывающей поведение первичного и вторичного агрегата в технологическом процессе. Обрабатывались модельные структуры: количество частиц в первичном – 0 – 120 и вторичном агрегате – 60 – 60 [7].

Таблица 4 – Сравнение гистограмм яркости модельных структур

Table 4 - Comparison of brightness histograms of model structures

Расстояния	Каналы	Сравниваемые объекты	
		а	б
Бхаттачария	1	0,081	0,092
	3	0,0542	0,064
Кульбака– Лейблера	1	5289	3553
	3	3526	2369

Результаты численных экспериментов показали, что вклад в формирование электрофизических характеристик эффектов, реализуемых в наполненных модифицированным техническим углеродом каучуках, учитывается результатами сравнения одно- и двухканальных гистограмм с помощью выбранных расстояний.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложенный подход фиксирует разницу по гистограммам при оценке соответствия структур материалов, то есть метод LBP реагирует на модификацию поверхности технического углерода.

2. Выбранные методы расчета расстояний между гистограммами структур с техническим углеродом разной модификации поверхности позволяют оценить вклад в формирование электрофизических характеристик

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПОЛНЕННЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ УГЛЕРОДОМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ЛОКАЛЬНЫХ БИНАРНЫХ ШАБЛОНОВ

изменения агломерирования наполнителя и межфазных взаимодействий между электропроводящим и связующим компонентами.

3. Предложенный подход к сравнению материалов показывает, что результаты вычисления расстояний указывают на экспериментально подтвержденную закономерность изменения электропроводности при рассмотренных эксплуатационных воздействиях: увеличение разницы в свойствах материалов связано с увеличением различия в структурах по рассчитанным расстояниям.

4. Сравнение расчетов по модельным и реальным структурам показало, что реализация межфазных взаимодействий увеличивает разницу структур по методу локальных бинарных шаблонов при выбранных методах сравнения гистограмм: вклад межфазного взаимодействия меняет показатели сравнения в большую сторону.

5. Материалы, больше отличающиеся по величине объемного электрического сопротивления и его изменению при эксплуатационных воздействиях, показывают большую разницу расстояний Кульбака–Лейблера как для одноканальной, так и трёхканальной гистограмм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения / Б.А. Люкшин (и др.) // Под ред. А.В. Герасимов. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2017. 311 с.
2. Гуль В.Е., Шенфиль Л.З. Электропроводящие полимерные композиции. М. : Химия, 1984. 240 с.
3. Минакова Н.Н. Моделирование процессов эксплуатационных воздействий для дисперсно-наполненных полимеров // Известия высших учебных заведений физика. 2000. Т. 43. № 1. С. 41–45.
4. Минакова Н.Н., Ушаков В.Я. Текстурный анализ дисперсной структуры композитных эластомеров с модифицированным углеродным наполнителем // Известия высших учебных заведений физика. 2002. Т. 45. № 2. С. 80–83.
5. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. М. : Химия, 1991. 260 с.
6. Минакова Н.Н., Сквирская И.И., Ушаков В.Я. Низковольтные характеристики материала на основе каучука с углеродным наполнителем для объемных резисторов // Электричество. 1986. № 4. С. 64–66.
7. Минакова Н.Н. Оценка вклада агломерированного компонента в формирование электропроводности наполненных полимеров по сравнительным характеристикам микрофотографий структуры // Ползуновский вестник. 2022. № 1. С. 147–153.
8. Ивановский В.И. Технический углерод. Процессы и аппараты. Омск : ОАО «Техуглерод», 2004. 228 с.

9. Корнев, Ю.В. Управление энергетикой поверхности технического углерода с помощью модификации / Ю.В. Корнев, А.С. Лыкин, М.В. Швачич, Ю.А. Гамлицкий // Каучук и резина : междунар. конф. (20–27 окт. 2004, г. Москва). М. : НИИШП, 2004. С. 125.

9. Раздъяконова, Г.И. Влияние функционального состава технического углерода на межфазные слои в каучуковой среде / Г.И. Раздъяконова, Е.А. Киселева // Каучук и резина. 2013. № 3. С. 40–43.

10. Раздъяконова, Г.И. Получение и свойства дисперсного углерода. Омск : ОмГТУ, 2014. 236 с.

11. Фиалков А.С. Углеграфитовые материалы. М. : Энергия, 1979. 320 с.

12. Alpaslan N., Hanbay K. Multi-resolution intrinsic texture geometry-based local binary pattern for texture classification // IEEE Access. 2020. V. 8. P. 54415–54430.

13. Рахимбаева Е.О. Анализ алгоритма локальных бинарных шаблонов в задаче классификации текстур // Вестник современных исследований. 2019. № 1.13 (28). С. 125–130.

14. Прэтт У. Цифровая обработка изображений ; Пер. с англ. М. : Мир, 1982. Кн. 2. 480 с.

15. Гонсалес Р.С., Вудс Р.Е. Цифровая обработка изображений. М. : Техносфера, 2012. 1081 с.

16. Histogram Comparison // Open CV. URL : https://docs.opencv.org/3.4/d8/dc8/tutorial_histogram_comparison.html (дата обращения 25.01.2023).

17. Постнов К.В. Компьютерная графика. М. : МГСУ, 2009. 249 с.

18. Xu M. Tighter Performance Bounds on Image Registration / M. Xu, P.K. Varshney // in Proc. IEEE Int. Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP 2006). 2006. P. 777–780.

19. Shan C., Gong S., McOwan P.W. Facial expression based on local binary patterns: A comprehensive study // Image and Vision Computing. 27(6). 2009. P. 803–816.

Информация об авторах

Н. Н. Минакова – доктор физико-математических наук, профессор, Алтайский государственный университет.

REFERENCES

1. Lyukshin, B.A. [et al.]. (2017). Dispersed-filled polymer composites for technical and medical purposes. edited by A.V. Gerasimov. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS. (In Russ.).
2. Gul, V.E. & Shenfil, L.Z. (1984). Electro-conductive polymer compositions. M.: Chemistry. (In Russ.).
3. Minakova, N.N. (2000). Modeling of operational impact processes for dispersed-filled polymers. Izvestiya vysshikh uchebnykh institutov fizika. 43(1). 41-45. (In Russ.).
4. Minakova, N.N. & Ushakov, V.Ya. (2002). Textural analysis of the dispersed structure of composite elastomers with modified carbon filler. News of higher educational institutions of physics. 45(2). 80-

83. (In Russ.).
5. Lipatov, Yu.S. (1991). Physico-chemical bases of polymer filling. M.: Chemistry. (In Russ.).
 6. Minakova, N.N., Skvirskaya, I.I. & Ushakov, V.Ya. (1986). Low-voltage characteristics of a rubber-based material with a carbon filler for volumetric resistors. Electricity. (4). 64-66. (In Russ.).
 7. Minakova, N.N. (2022). Assessment of the contribution of the agglomerated component to the formation of the electrical conductivity of filled polymers by the comparative characteristics of micrographs of the structure. Polzunovskiy Vestnik. (1). 147-153. (In Russ.).
 8. Ivanovskiy, V.I. (2004). Carbon black. Processes and devices. Omsk: JSC "Techuglerod". (In Russ.).
 9. Kornev, Yu.V., Lykin, A.S., Shvachich, M.V. & Gamlitsky, Yu.A. (2004). Energy management of the carbon black surface by means of modification. Rubber and rubber : inter-dunar. conf. (October 20-27, 2004, Moscow). M. : NIIISHP. (In Russ.).
 10. Razdiakonova, G.I. & Kiseleva, E.A. (2013). The influence of the functional composition of carbon black on interphase layers in a rubber medium. Rubber and rubber. (3). 40-43. (In Russ.).
 11. Razdyakonova, G.I. (2014). Obtaining and properties of dispersed carbon. Omsk: OmSTU. (In Russ.).
 12. Fialkov, A.S. (1979). Carbon-graphite materials. M.: Energiya. (In Russ.).
 13. Alpaslan, N. & Hanbai, K. (2020). A local two-sided template based on the internal geometry of a texture with multiple resolutions for texture classification. IEEE Access. (8). 54415-54430. (In Russ.).
 14. Rakhimbayeva, E.O. (2019). Analysis of the algorithm of local binary patterns in the problem of texture classification. Bulletin of Modern Research. 1.13 (28). 125-130. (In Russ.).
 15. Pratt, U. (1982). Digital image processing: Translated from English. M.: Mir, Book 2. (In Russ.).
 16. Gonzalez, R.S. & Woods, R.E. (2012). Digital image processing. Moscow: Technosphere. (In Russ.).
 17. Postnov, K.V. (2009). Computer graphics. M.: MGSU. (In Russ.).
 18. Xu, M. & Varshni, P.K. (2006). More stringent performance limitations when registering images. in the process. IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2006). 777-780.
 19. Shan, K., Gong, S. & McOwen, P.U. (2009). Facial expression based on local binary patterns: a comprehensive study. Computing images and visions. 27(6). 803-816. (In Russ.).

Information about the authors

N.N. Minakova - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Altai State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 07 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 669.66-9
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.030

EDN: DCQJUC

МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ БЕЗВОЛЬФРАМОВОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА КНТ16 МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

Артем Маратович Бадамшин ¹, Владимир Степанович Ковивчак ²,
Андрей Александрович Крутко ³, Оксана Юрьевна Бургонова ⁴

^{1, 3, 4} Омский государственный технический университет, Омск, Россия

¹ Artembadamschin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6695-4945>

² Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, kvs_docent@mail.ru

³ A.A.Krutko@mail.ru

⁴ Oksbourg@mail.ru

Аннотация. В работе исследовано влияния мощного ионного пучка наносекундной длительности на изменение морфологии, механических свойств и эксплуатационных характеристик металлорежущих пластин из безвольфрамового твердого сплава марки КНТ16 ($TiCN-Ni-Mo$). Установлено, что воздействие мощного ионного пучка приводит к существенному изменению износостойкости режущих пластин при токарной обработке прутков из стали 40ХН. Определено оптимальное число импульсов облучения, при котором режущая пластина испытывает наименьший износ при проведении испытаний. С помощью растровой электронной микроскопии обнаружено, что воздействие мощного ионного пучка в диапазоне числа импульсов от 1 до 3 приводит к формированию однородного оплавленного поверхностного слоя образцов, что, в свою очередь, приводит к повышению их теплостойкости при температуре выдержки $T = 800$ °C. Исследовано влияние числа импульсов облучения мощного ионного пучка на микротвердость облученных образцов.

Ключевые слова: безвольфрамовые твердые сплавы, мощный ионный пучок, ионнолучевая обработка, карбид титана, обработка металлов резанием, микротвердость, теплостойкость, морфология, поверхность.

Для цитирования: Модификация металлорежущих пластин из безвольфрамового твердого сплава КНТ16 мощным ионным пучком / А. М. Бадамшин [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 237–244. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.030. EDN: <https://elibrary.ru/DCQJUC>.

Original article

MODIFICATION OF METAL-CUTTING INSERTS FROM TUNGSTEN-FREE HARD ALLOY KNT16 POWERFUL ION BEAM

Artem M. Badamshin ¹, Vladimir S. Kovivchak ², Andrey A. Krutko ³,
Oksana Yu. Burgonova ⁴

^{1, 3, 4} Omsk State Technical University, Omsk, Russia

¹ Artembadamschin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6695-4945>

² Omsk State University F.M. Dostoevsky, kvs_docent@mail.ru

³ A.A.Krutko@mail.ru

⁴ Oksbourg@mail.ru

Abstract. The influence of a powerful ion beam of nanosecond duration on the change in the morphology, mechanical properties and operational characteristics of metal-cutting inserts made of tungsten-free hard alloy grade KNT16 (TiCN-Ni-Mo) was studied in this work. It has been established that the impact of a powerful ion beam leads to a significant change in the wear resistance of cutting plates during turning of bars made of 40KhN steel. The optimal number of irradiation pulses is determined, at which the cutting plate experiences the least wear during testing. Using scanning electron microscopy, it was found that the impact of a powerful ion beam in the range of the number of pulses from 1 to 3 leads to the formation of a homogeneous melted surface layer of the samples, which, in turn, leads to an increase in their heat resistance at a holding temperature $T = 800^{\circ}\text{C}$. The effect of the number of high-power ion-beam irradiation pulses on the microhardness of irradiated samples has been studied.

Keywords: tungsten-free hard alloys, powerful ion beam, ion-beam machining, titanium carbide, metal cutting, microhardness, heat resistance, morphology, surface.

For citation: Badamshin, A.M., Kovivchak, V.S., Krutko, A.A. & Burgonova, O.Yu. (2023). Modification of metal-cutting inserts from tungsten-free hard alloy KNT16 powerful ion beam. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 237-244. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.030. EDN: <https://elibrary.ru/DCQJUC>.

ВВЕДЕНИЕ

Поиск альтернативных аналогов традиционным вольфрамокобальтовым твердым сплавам является актуальной задачей современного материаловедения, что обусловлено высокой стоимостью и дефицитом их компонентов. Безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС) на основе карбида или карбонитрида титана (TiC)/(TiCN), также именуемые керметами, находят всё более широкое распространение в качестве аналогов традиционных вольфрамокобальтовых твердых сплавов (ВКТС) для производства металлорежущего инструмента [1–2]. Их основное преимущество перед ВКТС заключается в более низкой стоимости, что обусловлено дефицитом и высокой стоимостью вольфрама [3]. Вместе с тем, известные в настоящее время марки БВТС наиболее распространены из которых являются КНТ16, ТН20, ТР1020, ТР1030, существенно уступают по прочностным и теплофизическим характеристикам

ВКТС, что понижает их ресурс и ограничивает область применения. Для решения данной проблемы в последние десятилетия активно проводятся исследования в области совершенствования состава и технологии изготовления БВТС [4–6]. Помимо этого, перспективным является и ряд альтернативных методов совершенствования эксплуатационных свойств БВТС, основанных на облучении пучками заряженных частиц (ионов и электронов). В результате подобных видов воздействия тонкие поверхностные слои твердосплавных материалов могут претерпевать существенные изменения морфологии, химического и фазового состава [7]. Это, в свою очередь, изменяет их физико-механические свойства.

Стоит отметить, что технология радиационно-пучкового модифицирования (РПМ) хорошо себя зарекомендовала в области совершенствования структуры и свойств традиционных ВКТС, о чём свидетельствует ряд работ [8–12]. Процессы, происходящие при модификации

МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ БЕЗВОЛЬФРАМОВОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА КНТ16 МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

БВТС, в настоящий момент изучены недостаточно, однако их исследование представляет большой научно-практический интерес.

Целью настоящей работы является комплексное исследование изменений морфологии, механических свойств и эксплуатационных характеристик металлорежущих пластин из безвольфрамового твердого сплава марки КНТ16 при воздействии мощного ионного пучка наносекундной длительности (МИП).

МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования были использованы трёхгранные съёмные металлорежущие пластины из БВТС марки КНТ16 (TiCN–Ni–Mo), химический состав и область применения которых нормированы в ГОСТ 26530-85.

Облучение образцов мощным ионным пучком проводилось с использованием ускорителя «ТЕМП» (ОмГУ им. Ф.М. Достоевского). Состав пучка: 30 % H^+ + 70 % C^+ . Средняя энергия частиц $E \sim 250$ кэВ. Плотность тока пучка ~ 150 А/см². Число импульсов (n) составляло 1, 3, 5, 10.

Стойкостные испытания исходных и облученных пластин проводились на токарно-винторезном станке 1К62. Токарной обработке подвергались прутки из стали 40ХН (твёрдость материала в состоянии поставки составляла 19 HRC) диаметром $d = 55$ мм и длиной $l = 0,8$ м. Режимы точения были следующие: скорость резания – $V = 70$ м/мин.; глубина резания – $t = 1$ мм.; подача – $S = 0,3$ мм/об. Для снижения эффекта «биения» при токарной обработке был использован специальный люнет.

Исследование характера разрушения пластин проводилось с использованием оптического металлографического микроскопа Carl Zeiss (Carl Zeiss, Германия) при увеличении $\times 50$ крат. Теплостойкость образцов в термической печи СНОЛ (СНОЛ, Россия) при температуре 800 °C в течение времени $t = 20$ минут. Образцы переносились в разогретую печь, а после выдержки охлаждались на спокойном воздухе. После выдержки образцов проводилось исследование их микроповерхности и определялось значение микротвердости. Исследование морфологии поверхности образцов БВТС проводилось методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе Jeol JCM-5700 (JEOL Ltd., Япония) в режиме вторичных электронов. Микротвердость образцов определялась с использованием микротвердомера Shimadzu HMV-2 (Shimadzu, Япония). Нагрузка на индентор составляла 0.98 Н.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены микрофотографии передних поверхностей исходной (а) и облученных с различным числом импульсов (б–д) пластин из сплава КНТ16 после проведения токарной обработки. На рисунке 1 (а) видно, что после токарной обработки с применением исходной пластины на поверхности образовалась развитая лунка длиной $\sim 0,3$ мм. Причина её образования, по всей видимости, связана с адгезионным взаимодействием стружки и инструмента и последующим её сходом вместе с частицами инструмента [13]. Анализ микрофотографий передних поверхностей пластин, облученных МИП, свидетельствует о значительном изменении их стойкостных характеристик. Испытания показали, что передняя поверхность пластины, однократно облученной МИП (рис. 1 (б), имеет очаги разрушения в области стружколома, однако ярко выраженной лунки, как у исходной пластины, обнаружено не было.

На пластине, облученной МИП с числом импульсов $n = 3$ (рис. 1 (в)), ярко выраженных очагов разрушения не обнаружено. Дальнейшее увеличение числа импульсов МИП до 5 (рис. 1 (г) и особенно до 10 (рис. 1 (д)) приводит к образованию крупных сколов, локализованных вблизи режущей кромки.

В таблице 1 представлены средние значения результатов определения микротвердости исследуемых образцов по девяти точкам. По данным таблицы видно: в результате однократного облучения МИП значение микротвердости возрастает незначительно. Наибольшее увеличение данного параметра происходит в результате трёхкратного облучения МИП. Дальнейшее увеличение числа импульсов приводит к резкому снижению микротвердости, причиной чего может служить рост микротрещин и охрупчивание поверхностных слоёв твердого сплава [8].

Таблица 1 – Среднее значение микротвердости исследуемых образцов

Table 1 - Mean microhardness of the studied samples

Образец	Среднее значение микротвердости HV, ед.
Исходный	1410
МИП $n = 1$	1483
МИП $n = 3$	1857
МИП $n = 5$	1156
МИП $n = 10$	1024

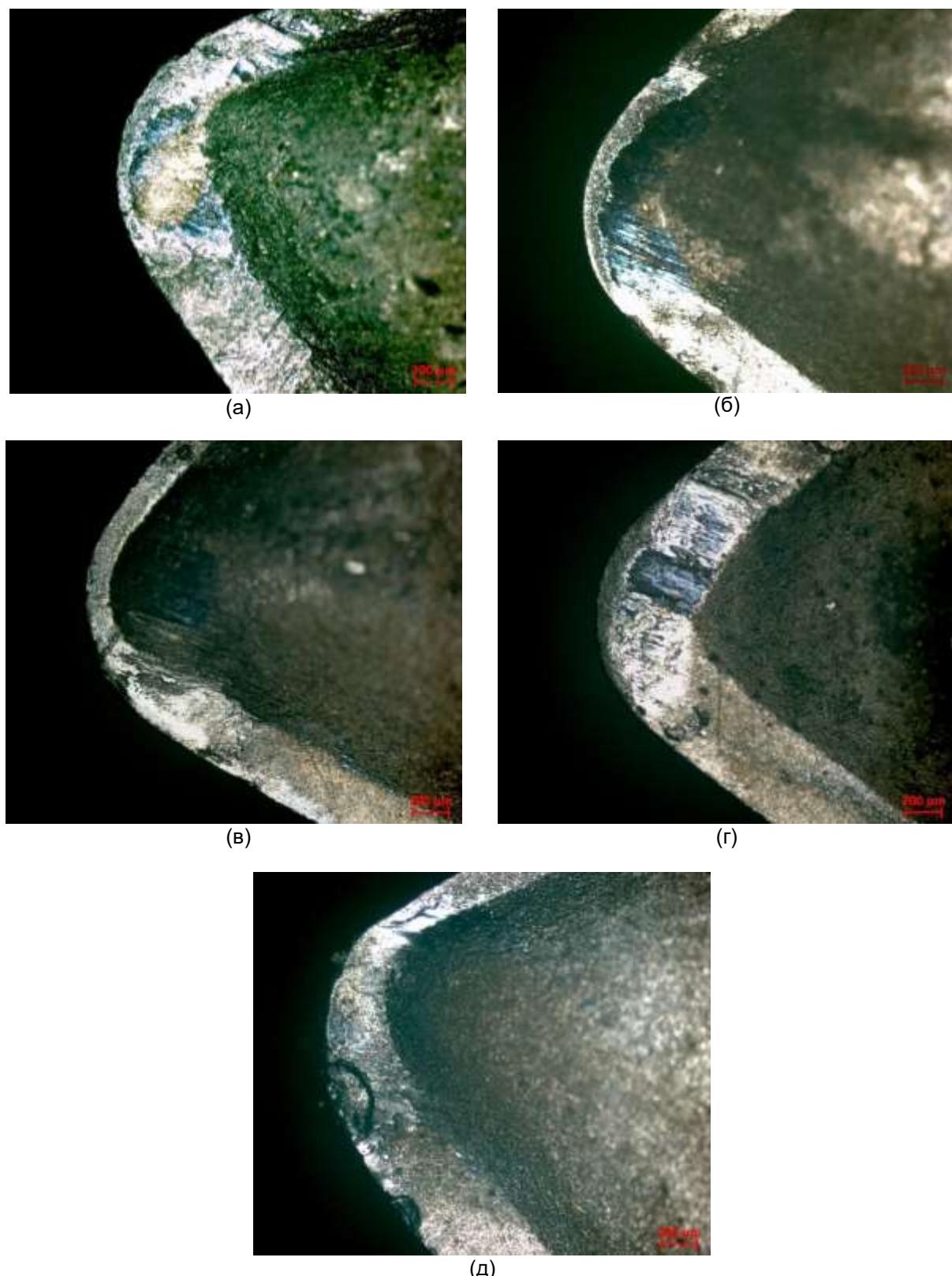


Рисунок 1 – Передняя поверхность исходной пластины (а), пластин, облученных МИП: (б) – 1 импульс; (в) – 3 импульса; (г) – 5 импульсов; (д) – 10 импульсов

Figure 1 - Front surface of the initial plate (a), plates irradiated with HPIB: (b) - 1 pulse, (c) - 3 pulses, (d) - 5 pulses, (e) - 10 pulses

МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ БЕЗВОЛЬФРАМОВОГО
ТВЕРДОГО СПЛАВА КНТ16 МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

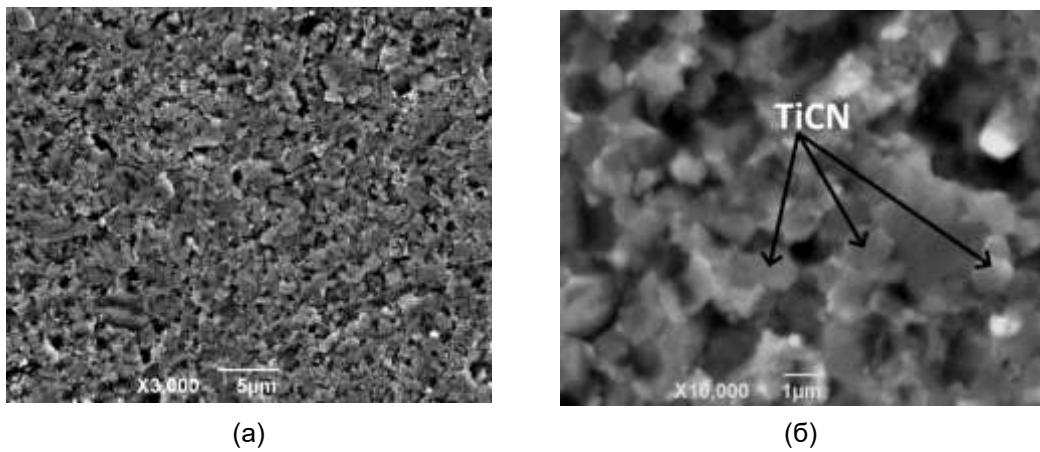


Рисунок 2 – РЭМ-изображение исходной поверхности сплава КНТ16:
(а) – x 3000, (б) – x 10000

Figure 2 - SEM-image of the initial surface of the KNT16 alloy:
(a) - x 3000, (b) - x 10000

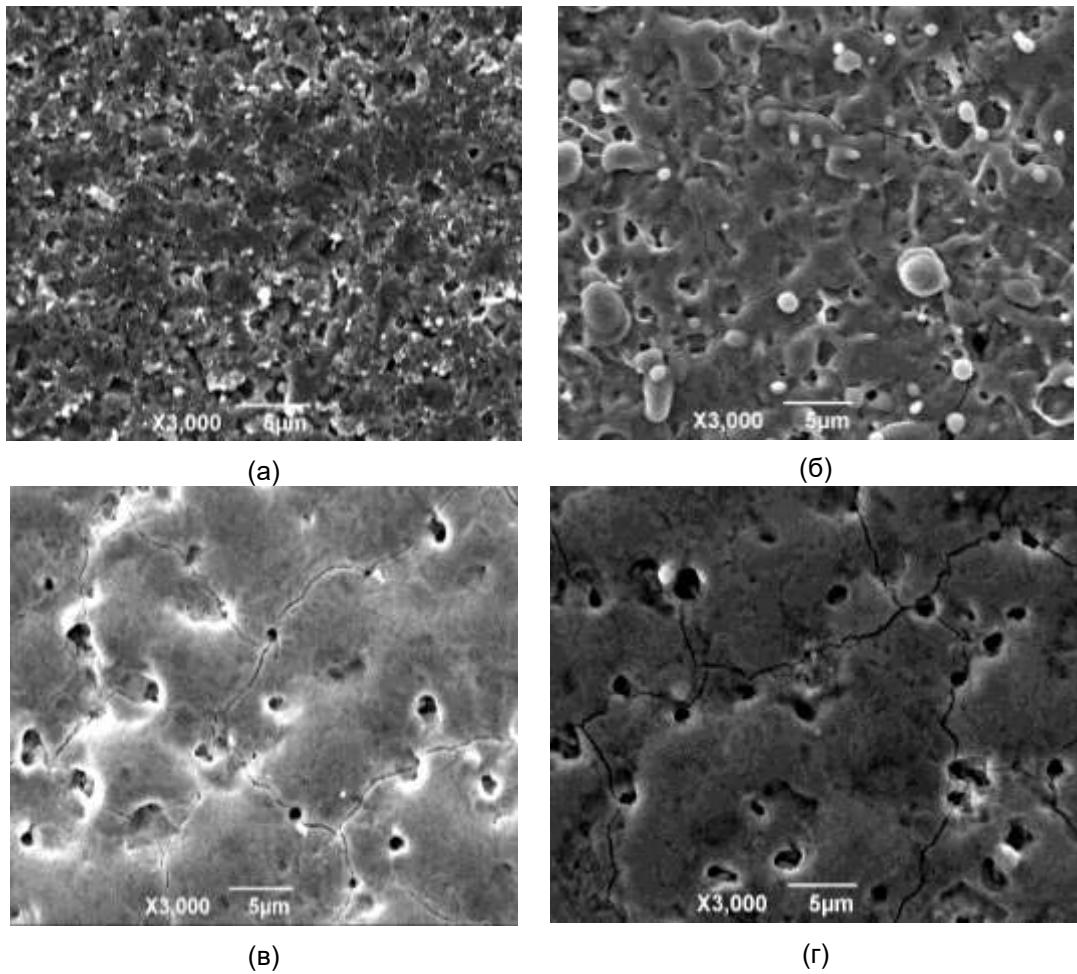


Рисунок 3 – РЭМ-изображения поверхности сплава КНТ16 после воздействия МИП:
(а) – 1 импульс; (б) – 3 импульса; (в) – 5 импульсов; (г) – 10 импульсов

Figure 3 - SEM images of the surface of the KNT16 alloy after exposure to HPIB:
(a) - 1 pulse, (b) - 3 pulses, (c) - 5 pulses, (d) - 10 pulses

РЭМ изображения поверхности образцов свидетельствуют о существенном изменении морфологии поверхности БВТС КНТ16 после ионной обработки. На рисунке 2 представлены РЭМ изображения поверхности твердого сплава в исходном состоянии. Поверхность данного образца представляет собой гетерогенную систему карбонитридных зёрен TiCN и никель-молибденовой связки. Ввиду мелкой дисперсности частиц БВТС идентификация зёрен (их характерный размер составляет ~ 1 мкм.) возможна лишь при весьма больших увеличениях (~ 10000 крат.). Помимо этого, по всей поверхности образца присутствуют поры размером $\sim 1-2$ мкм.

РЭМ изображения, модифицированных с различным числом импульсов МИП поверхностей БВТС, представлены на рисунке 3. Видно, что воздействие одного импульса МИП (рис. 3 (а)) приводит лишь к частичному оплавлению поверхности твердого сплава, что проявляется в

локальном появлении тёмных однородных участков с меньшей концентрацией пор.

Воздействие трёх импульсов МИП (рис. 3 (б)) приводит к формированию более однородного оплавленного слоя и снижению пористости.

Помимо формирования оплавленного слоя, на поверхности образуются трещины причиной появления, которых является фазовая неоднородность мишени и чрезвычайно высокие градиенты термомеханических напряжений в условиях термоударного нагружения при воздействии пучка [8]. Воздействие 5 и 10 импульсов МИП (рис. 3 (в, г)) приводит к ещё большему сглаживанию поверхности. При данных режимах обработки наблюдается ещё большее повреждение поверхностных слоёв, что проявляется в увеличении плотности микротрещин и ширины пор, что и приводит к хрупкому разрушению пластин в процессе резания.

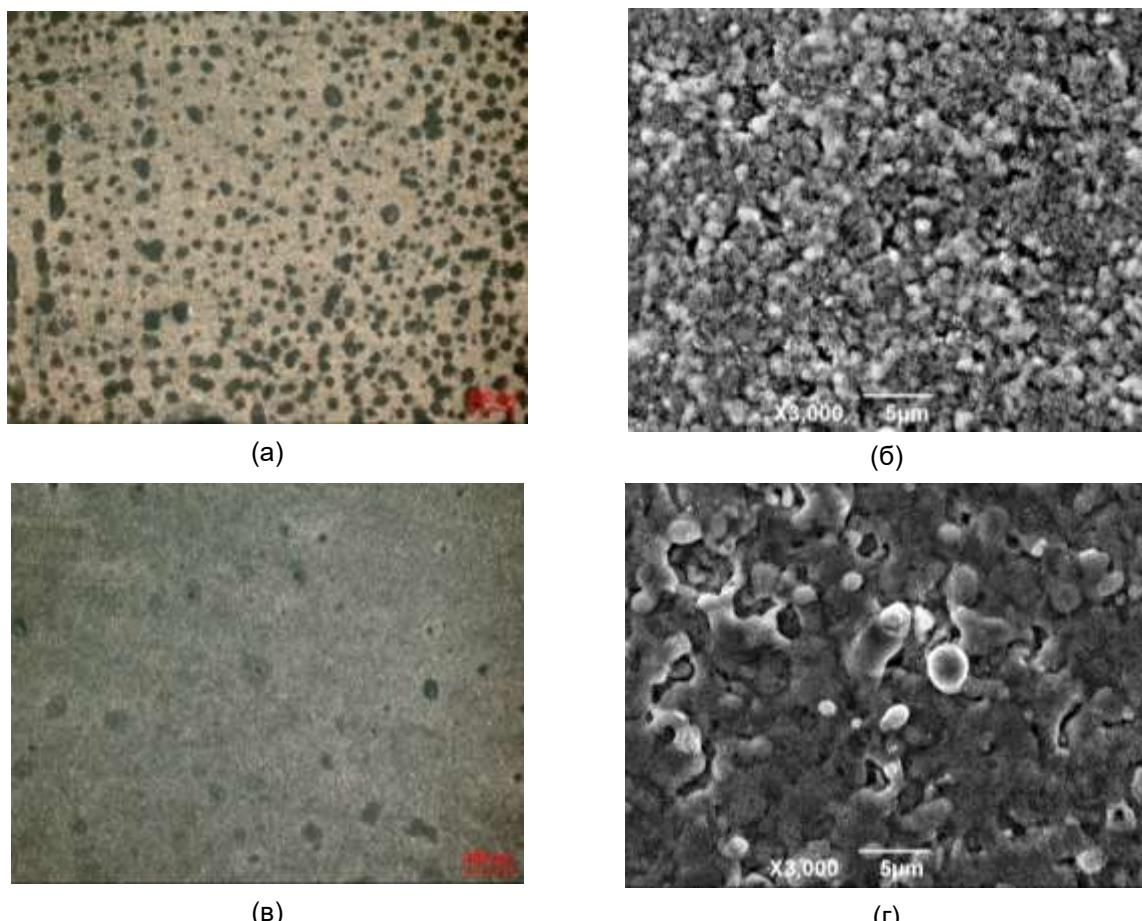


Рисунок 4 – Микроизображения изображения поверхности сплава КНТ16 после испытаний на теплостойкость: (а, б) – исходный образец; (в, г) – МИП 3 импульса;
(а, в) – оптическая микроскопия; (б, г) – электронная микроскопия

Figure 4 - Microimages of the image of the surface of the KNT16 alloy after heat resistance tests:
(a, b) - the original sample, (c, d) - HPiB 3 pulses. (a, c) - optical microscopy,
(b, d) - electronic microscopy

МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ БЕЗВОЛЬФРАМОВОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА КНТ16 МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

На рисунке 4 представлены микроизображения поверхностных слоёв исходного (рис. 8 (а, б) и облученного тремя импульсами МИП (рис. 8 (в, г) образцов БВТС после испытаний на теплостойкость. На поверхности исходного образца (рис. 8 (а) видно образование коррозионных язв, средний размер которых составляет $\sim 50-100$ мкм. При этом на поверхности облученного образца (рис. 8 (в)) количество язв существенно ниже, а их размеры и форма аналогичны. РЭМ-изображения БВТС свидетельствуют о том, что поверхность исходного образца является пористой, в то время как поверхность облученного образца более однородная.

Следует отметить, что средние значения микротвердости исходного и облученного образцов после проведения испытаний на теплостойкость существенно отличаются. Микротвердость исходного образца находилась в диапазоне $\sim 980-1100$ ед. HV. Примечательно, что в «коррозионных язвах» данное значение было существенно выше и составляло $\sim 1400-1600$ ед. HV. Значение микротвердости по поверхности облученного образца находилось в диапазоне $\sim 1450-1600$ ед. HV.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что воздействие мощного ионного пучка наносекундной длительности с числом импульсов $n = 3$ приводит к повышению износостойкости металлорежущих пластин из твердого сплава марки КНТ16 при проведении токарной обработки стали 40ХН. Обнаружено что данный режим облучения также приводит к повышению теплостойкости и микротвердости БВТС. Дальнейшее увеличение числа импульсов облучения негативно сказывается на данных свойствах из-за повреждения поверхностных слоёв БВТС при облучении.

Полученные в работе результаты свидетельствуют о перспективности импульсной ионной модификации инструментов из безвольфрамовых твердых сплавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние ионного облучения на микротвердость композиционного материала / В.В. Акимов [и др.] // Металообработка. 2020. № 2(116). С. 31–36.
2. Изменение структурно-фазового состояния и физико-химических свойств безвольфрамовых твердых сплавов TiC-TiNi после различных видов ионно-лучевой обработки / В.В. Акимов [и др.] // Омский научный вестник. 2021. № 2(176). С. 5–9.
3. Панов В.С. Безвольфрамовые твердые сплавы: аналитический обзор // Материаловедение. 2019. № 10. С. 33–39.
4. Структура, фазовый состав и характер разрушения спеченных композиционных материалов TiC-NiTi / С.Н. Кульков, Т.М. Полетика, В.Е. Панин // Порошковая металлургия. 1983. № 7. С. 54–59.
5. Кульков С.Н., Рудай В.В. Микроструктура композиционного материала TiC-TiNi с микрографиентной структурно-неустойчивой матрицей // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. № 5–2(55). С. 166–169
6. Бурков П.В. Исследование свойств безвольфрамового твердого сплава при частичной замене титана молибденом // Перспективные материалы. 2002. № 3. С. 61.
7. Влияние ионного облучения на морфологию, элементный и химический состав поверхностных слоев безвольфрамовых твердых сплавов / А.М. Бадамшин [и др.] // Письма в Журнал технической физики. 2021. № 15(47). С. 19–22. DOI 10.21883/PJTF.2021.15.51228.18783.
8. Модификация твердого сплава Т15К6 мощными импульсными ионными пучками и компрессионными плазменными потоками / В.В. Углов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2011. № 3. С. 63–68.
9. Получение градиентных композиций повышенной коррозионной стойкости и твердости методами ионной имплантации и химического модифицирования / В.Ф. Борбат [и др.] // Вестник Омского университета. 2004. № 3(33). С. 60–62.
10. Модификация твердых сплавов мощными ионными пучками и послерадиационной термической обработкой / Н.П. Калистратова [и др.] // Физика и химия обработки материалов. 1999. № 1. С. 10–14.
11. Механизмы модификации структуры твердых сплавов / Г.И. Геринг [и др.] // Вестник Омского университета. 1997. № 2. С. 29–31
12. Упрочнение инструментальных материалов имплантацией ионов (Zr, b, n) и (Zr, b, Kr) / А.К. Кулешов [и др.] // Вакуумная техника и технология. 2011. № 4(21). С. 231–236.
13. Виды износа твердосплавных пластин при лезвийной обработке и методы борьбы с ними / Д.С. Реченко [и др.] // Омский научный вестник. 2015. № 3(143). С. 83–87.

Информация об авторах

А. М. Бадамшин – ассистент кафедры «Машиностроение и материаловедение» Омского государственного технического университета.

В. С. Ковицячак – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей и экспериментальной физики Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского.

А. А. Крутько – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение» Омского государственного технического университета.

О. Ю. Бургонова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение» Омского государственного технического университета.

REFERENCES

1. Akimov, V.V. [et al.]. (2020). The effect of ion irradiation on the micro-hardness of a composite material. *Metalloobrabotka*. 2(116). 31-36. (In Russ.).
2. Akimov, V.V. [et al.]. (2021). Changes in the structural-phase state and physicochemical properties of tungsten-free TiC-TiNi hard alloys after various types of ion-beam treatment. *Omsk Scientific Bulletin*. 2(176). 5-9. (In Russ.).
3. Panov, V.S. (2019). Tungsten-free hard alloys: an analytical review. *Materials Science*. (10). 33-39. (In Russ.).
4. Kulkov, S.N., Poletika, T.M. & Panin, V.E. (1983). Structure, phase composition and character of destruction of sintered composite materials TiC-NiTi. *Powder metallurgy*. (7). 54-59. (In Russ.).
5. Kulkov, S.N. & Rudai, V.V. (2012). Microstructure of a composite TiC-TiNi material with a microgradient structurally unstable matrix. *News of higher educational institutions. Phiz*. 5-2(55). 166-169. (In Russ.).
6. Burkov, P.V. (2002). Investigation of properties of a tungsten-free hard alloy with partial replacement of titanium with molybdenum. *Perspective materials*. (3). 61. (In Russ.).
7. Badamshin, A.M., Nesov, S.N., Kovivchak, V.S. (2021). The effect of ion irradiation on the morphology, elemental and chemical composition of the surface layers of tungsten-free solid alloys. *Letters to the Journal of Technical Physics*. 15(47). 19-22. (In Russ.). DOI 10.21883/PJTF.2021.15.51228.18783.
8. Uglov, V.V., Kuleshov, A.K., Remnev, G.E. [et al.]. (2011). Modification of the T15K6 hard alloy by powerful pulsed ion beams and compression plasma flows. *News of higher educational institutions. Powder metallurgy and functional coatings*. (3). 63-68. (In Russ.).
9. Borbat, V.F., Mukhin, V.A., Kozorog, I.B. [et al.]. (2004). Obtaining gradient compositions of increased corrosion resistance and hardness by ion implantation and chemical modification methods. *Bulletin of Omsk University*. 3(33). 60-62. (In Russ.).
10. Kalistratova, N.P., Poleshchenko, K.N., Goering, G.I. [et al.]. (1999). Modification of hard alloys by powerful ion beams and post-radiation thermal treatment. *Physics and Chemistry of materials processing*. (1), 10-14. (In Russ.).
11. Goering, G.I., Kalistratova, N.P. & Poleshchenko, K.N. (1997). Mechanisms of modification of the structure of hard alloys. *Bulletin of the Omsk University*. (2). 29-31. (In Russ.).
12. Kuleshov, A. K., Uglov, V.V. & Bryukhov, V.V. (2011). Hardening of instrumental materials by implantation of ions (Zr, b, n) and (Zr, b, Kg). *Vacuum technique and technology*. 4(21). 231-236. (In Russ.).
13. Rechenko, D.S., Yezhov, A.A., Balova, D.G. [et al.]. (2015). Types of wear of carbide plates during blade processing and methods of combating ni-mi. *Omsk Scientific Bulletin*. 3(143). 83-87. (In Russ.).

Information about the authors

A.M. Badamshin - Assistant of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Omsk State Technical University.

V.S. Kovivchak - Ph.D, Associate Professor of the Department of General and Experimental Physics, Dostoevsky Omsk State University.

A.A. Krutko - Ph.D, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Omsk State Technical University.

O.Yu. Burgonova - Ph.D, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Omsk State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 07 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.



ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК В МАТРИЦЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

Марфа Никитична Егорова ¹, Ирина Ивановна Куркина ²,
Афанасий Алексеевич Дьяконов ³

^{1, 2, 3} Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

¹ mn.egorova@s-vfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8204-0000>

² ii.kurkina@s-vfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-0000>

³ afonya71185@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>

Аннотация. В работе приведены результаты исследования оптических и структурных свойств раствора углеродных точек, синтезированных из лимонной кислоты и этилендиамина гидротермальным методом. В ходе работы установлено, что фотолюминесценция углеродных точек зависит от изменения длины волны возбуждения, средний диаметр полученных углеродных точек составил 80 нм, с толщиной 4 нм. Также приведены результаты исследования оптических и электрических свойств пленок из поливинилового спирта, содержащих углеродные точки. Наибольшей электропроводностью и фотолюминесценцией обладают пленки с долей углеродных точек 10 %.

Ключевые слова: углеродные точки, лимонная кислота, этилендиамин, люминесценция, гидротермальный синтез, светодиоды, электролюминесценция.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке МНиВО РФ НИР № FSRG-2023-0026 и Гранта Главы РС(Я) для молодых ученых, специалистов и студентов.

Для цитирования: Егорова М. Н., Куркина И. И., Дьяконов А. А. Получение углеродных точек в матрице поливинилового спирта и исследование их свойств // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 245–251. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.031. EDN: <https://elibrary.ru/BNVSUS>.

Original article

OBTAINING CARBON DOTS IN A POLYVINYL ALCOHOL MATRIX AND INVESTIGATION OF THEIR PROPERTIES

Marfa N. Egorova ¹, Irina I. Kurkina ², Afanasiy A. Dyakonov ³

^{1, 2, 3} M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

¹ mn.egorova@s-vfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8204-0000>

² ii.kurkina@s-vfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-0000>

³ afonya71185@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6959-368X>

Abstract. Fluorescent carbon dots were synthesized via a one-step hydrothermal approach using citric acid as the carbon source and ethylenediamine as a nitrogenous additive. The synthesized carbon dots exhibit excitation-dependent photoluminescence emission and have an average diameter of 80 nm, and thickness of 4 nm. The results of a study of the optical and electrical properties of polyvinyl alcohol films containing carbon dots are also presented. Films with a carbon dots fraction of 10% have the highest electrical conductivity and photoluminescence.

Keywords: carbon dots, citric acid, ethylenediamine, luminescence, hydrothermal synthesis, polyvinyl alcohol, LEDs, electroluminescence.

Acknowledgements: The work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under the State Assignments No. FSRG-2023-0026 and the Grant of the Head of the Republic of Sakha (Yakutia) for young scientists, specialists and students.

For citation: Egorova, M.N., Kurkina, I.I. & Dyakonov, A.A. (2023). Obtaining carbon dots in a polyvinyl alcohol matrix and investigation of their properties. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 245-251. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.031. EDN: <https://elibrary.ru/BNVSUS>.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время квантовые точки и светодиоды на их основе привлекли большое внимание исследователей во всем мире, и за последние несколько лет были достигнуты большие успехи в области высокопроизводительных устройств такого типа [1–8]. Однако высокая токсичность, низкая стабильность и высокая стоимость тяжелых металлов (таких, как Cd²⁺ и Pb²⁺) могут серьезно затруднить их дальнейшее развитие и практическое использование на потребительских рынках.

Углеродные точки (УТ) представляют собой люминесцирующие углеродные наноматериалы с размерами менее 10 нм. УТ не содержат тяжелых металлов и состоят из большого количества органических элементов, таких как углерод, водород, азот и кислород [9]. УТ обладают высокой химической инертностью, низкой токсичностью, и в ряде случаев могут заменить токсичные полупроводниковые квантовые точки [10, 11].

В связи с быстрым развитием УТ в последние годы исследования светодиодов на их основе привлекают все большее внимание и являются быстрорастущей областью исследований [12]. В настоящее время существуют две стратегии использования УТ в светодиодах: 1) УТ в качестве люминофоров; 2) УТ в качестве активных излучателей (излучательного слоя). Первый реализуется путем использования УТ в качестве люминофоров на УФ- или синем светодиоде на основе GaN [13–17]. Вторая стратегия связана с электролюминесцентными свойствами УТ. Электролюминесцентные светодиоды на основе УТ имеют структуру многослойного устройства, в которых УТ служат средним эмиссионным слоем.

УТ синтезируются различными методами с использованием большого количества разных прекурсоров. УТ, синтезированные путем карбонизации лимонной кислоты (ЛК), наиболее интересны, так как обладают наиболее яркой и интенсивной фотолюминесценцией (ФЛ) [18, 19]. С целью увеличения интенсивности люминесценции применяется легиро-

вание гетероатомами (N, B, P и др.). Легирование УТ атомами азота (водный раствор аммиака, этилендиамин, цистеин, этаноламин и др. [20]) является наиболее исследованным из-за его эффективного и простого одностадийного метода синтеза [21].

Целью работы является нахождение параметров синтеза УТ с интенсивной фотолюминесценцией и высокой электропроводностью для получения УТ в прозрачной матрице для дальнейшего использования в структурах светодиодов.

МЕТОДЫ

Для простого и эффективного приготовления УТ был выбран одностадийный гидротермальный метод. Для изготовления раствора углеродных точек в качестве источника углерода использовалась лимонная кислота (10 г), в качестве азотсодержащей добавки – этилендиамин (5 мл) и дейонизованная вода (50 мл) в качестве растворителя. Полученный прозрачный раствор помещали в автоклав из нержавеющей стали с политетрафторэтиленовым вкладышем и нагревали в сушильном шкафу при 180 °С. Длительность синтеза варьировали. Синтез углеродных точек продолжался в течение 4 ч, 6 ч, 8 ч и 10 ч. После охлаждения до комнатной температуры раствор центрифугировали 10 мин при 3000 об/мин и очищали от непреагировавших частиц при помощи диализа (размер пор 3,5 кДа) в течение 6 ч.

Для изготовления пленок, содержащих углеродные точки в матрице поливинилового спирта (ПВС-УТ), 1 г поливинилового спирта растворяли в 5 мл дейонизованной воды при 100 °С. Для исследования свойств ПВС-УТ были созданы 4 вида структур с разным содержанием УТ в матрице ПВС: 0,5 мл (10 %), 0,35 мл (7 %), 0,25 мл (5 %), 0,015 мл (1 %). Пленки были получены при помощи стержня Мейера. Поверх нанесенного первого слоя помещали алюминиевые контакты, затем наносили второй слой ПВС-УТ. Схематическая иллюстрация синтеза УТ для создания пленок ПВС-УТ показана на рисунке 1.

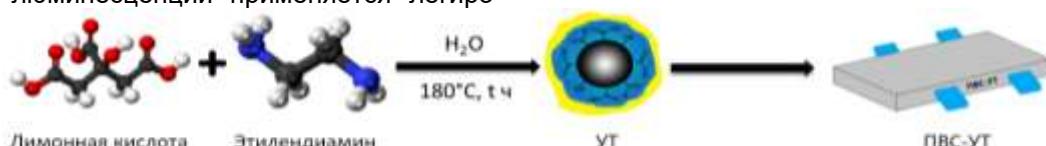


Рисунок 1 – Схематическая иллюстрация синтеза УТ для создания пленок ПВС-УТ

Figure 1 - Schematic illustration of the synthesizing of CDs for PVA/CDs films

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК В МАТРИЦЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

Исследования морфологии поверхности и структуры углеродных точек проводили при помощи атомно-силовой (Ntegra Spectra, NT-MDT, Россия) и сканирующей микроскопии (JSM-7800F, Jeol, Япония). Люминесценцию раствора УТ измеряли на спектрометре LS 50B (Perkin Elmer, США), пленок УТ и ПВС-УТ на Ntegraspectra, спектры поглощения измеряли на спектрофотометре Lambda 750 (Perkin Elmer, США). Вольт-амперные характеристики пленок ПВС-УТ измеряли на установке электрофизических измерений при дневном освещении, в темноте и под ультрафиолетовым излучением (УФ).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно литературным данным [22–25], наиболее распространенное время синтеза УТ с высокой интенсивностью ФЛ составляет

8 ч. Исходя из этого был синтезирован раствор УТ из лимонной кислоты со временем синтеза 8 ч и исследованы его оптические свойства. Полученный раствор углеродных точек коричневого цвета обладает ярким зеленым свечением под УФ светом.

Для характеристики полученных УТ были сняты спектры люминесценции и поглощения. Как видно из рисунка 2, а, люминесценция зависит от изменения длины волны возбуждения. При изменении длины волны возбуждения от 300 до 500 нм спектры люминесценции сдвигались от 440 нм до 540 нм, с максимумом при 442 нм ($\lambda_{ex} = 400$ нм). Оптические переходы в спектральной области 200–300 нм можно отнести к $\pi-\pi^*$ -переходам в sp^2 -гибридизированных углеродных доменах. Пик на 346 нм соответствует $n-\pi^*$ переходу связи $C = O$ (рисунок 2, б) [26].

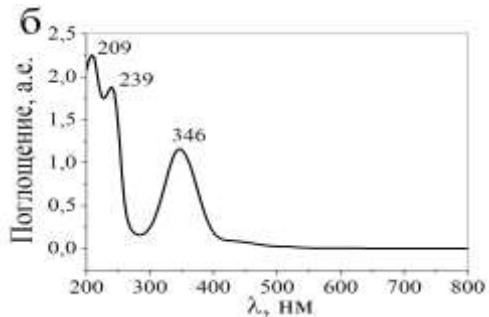
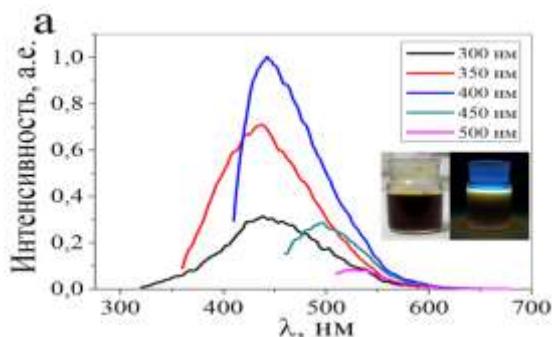


Рисунок 2 – а) спектры ФЛ раствора УТ; б) спектр поглощения раствора УТ (вставка: раствор УТ при дневном освещении и под УФ светом)

Figure 2 - a) PL spectra of CDs solution, b) UV-VIS absorption spectra of CDs solution (insert: CDs solution in daylight and under UV light)

Пленки УТ

Для получения пленок углеродных точек раствор УТ был нанесен на гибкую подложку.

Спектры люминесценции пленок УТ представлены на рисунке 2. При возбуждении лазером длиной волны 532 нм наблюдаются пики люминесценции в области от 550 нм до 640 нм. Благодаря тому, что спектры снимались на установке Интегра Спектра и материал возбуждали лазером, мы могли наблюдать 4 широких пика в районе 577–580 ($C = N + C = C$) нм, 594 нм ($C = C = C$ или $C = O$), 605 нм ($N = C = O$) и 620 нм ($C = C$). Образец со временем синтеза 10 ч обладает наибольшей интенсивностью ФЛ, тогда как для времени синтеза 8 ч интенсивность ФЛ оказалась наименьшей.

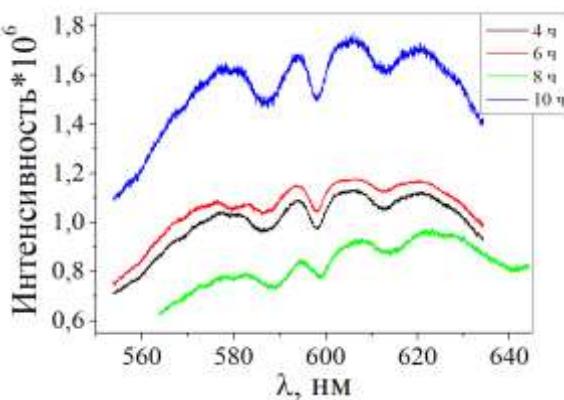


Рисунок 3 – Спектры ФЛ пленок УТ при разном времени синтеза (длина волны лазера 532 нм)

Figure 3 - PL spectra of CDs films at different synthesis times (laser wavelength 532 nm)

На рисунке 4, а представлены данные со сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Диаметр сферических УТ оценен как ~ 80 нм. На рисунке 4, б приведены данные АСМ, из

которых средняя толщина УТ составила 4 нм. Средние латеральные размеры УТ, полученные методом АСМ и СЭМ, согласуются между собой.

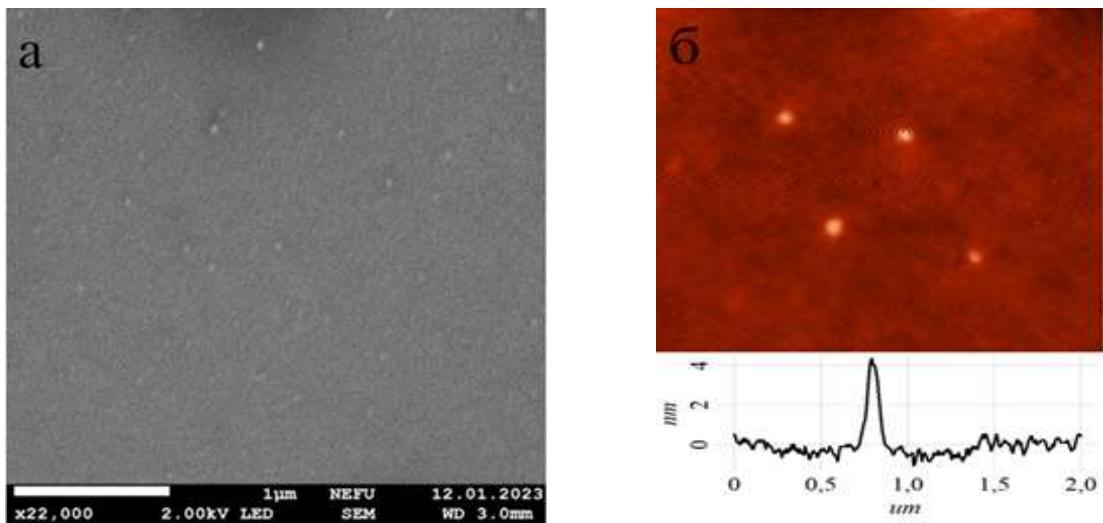


Рисунок 4 – а) СЭМ-изображение УТ; б) АСМ изображение и распределение высоты УТ

Figure 4 - a) SEM image of CDs, b) AFM image and height distribution of CDs

Пленки ПВС-УТ

Для определения влияния времени синтеза на люминесцентные свойства пленок ПВС-УТ были изготовлены образцы с разным временем синтеза УТ – 4, 6, 8 и 10 ч. Для определения влияния доли углеродных точек в ПВС на электропроводность пленок, для

образцов со временем синтеза 8 ч рассматривались следующие доли УТ – 1, 5, 7 и 10 %. Результаты исследования оптических свойств пленок ПВС-УТ представлены на рисунке 5.

Из рисунков видно, что с изменением длины волны лазера с 473 нм до 532 нм интенсивность ФЛ уменьшается.

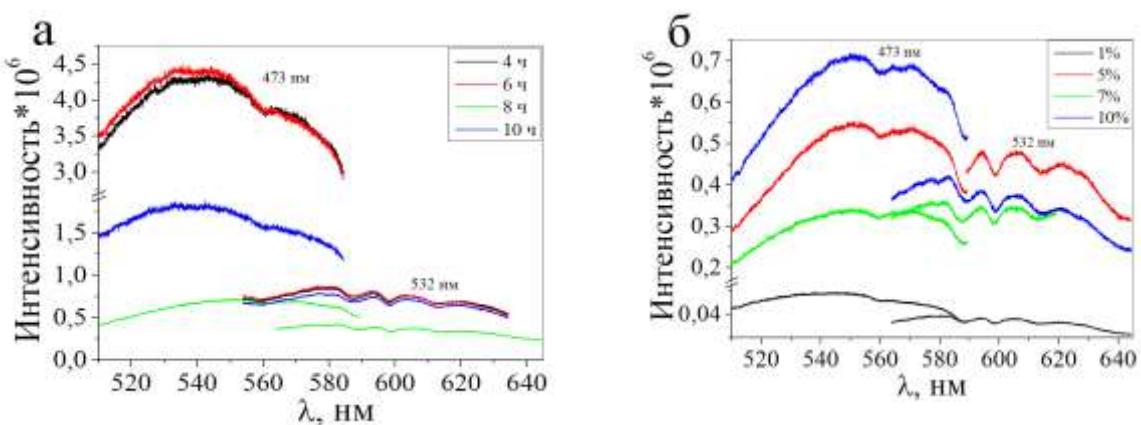


Рисунок 5 – Спектры ФЛ пленки ПВС-УТ ЛК: а) при разном времени синтеза; б) с разным содержанием УТ (длина волны лазера 473 нм и 532 нм)

Figure 5 - PL spectra of PVA/CDs film: a) at different synthesis times, b) with different content of CDs (laser wavelength 473 nm and 532 nm)

Для определения электропроводности пленок УТ в матрице ПВС были измерены вольт-амперные характеристики (ВАХ). На рисунке 6, а приведена ВАХ пленок ПВС-УТ, где

видно, что плотность тока пленок при свете и в темноте не меняется, а при освещении УФ становится в ~ 2 раза больше. Для сравнения на графике также приведена плотность тока исход-

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК В МАТРИЦЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

ной пленки ПВС. На рисунке 6, б представлены ВАХ пленок ПВС-УТ с концентрацией УТ 10 % в зависимости от времени синтеза УТ. Измерения проводились под УФ излучением. Видно, что плотность тока для ПВС-УТ со временем синте-

за УТ 8 ч наибольшая, более чем в 4 раза, по сравнению с ПВС-УТ со временем синтеза УТ 10 ч. Плотность тока для образцов со временем синтеза УТ 4 и 6 ч оказалась незначительно больше, чем для исходной пленки ПВС.

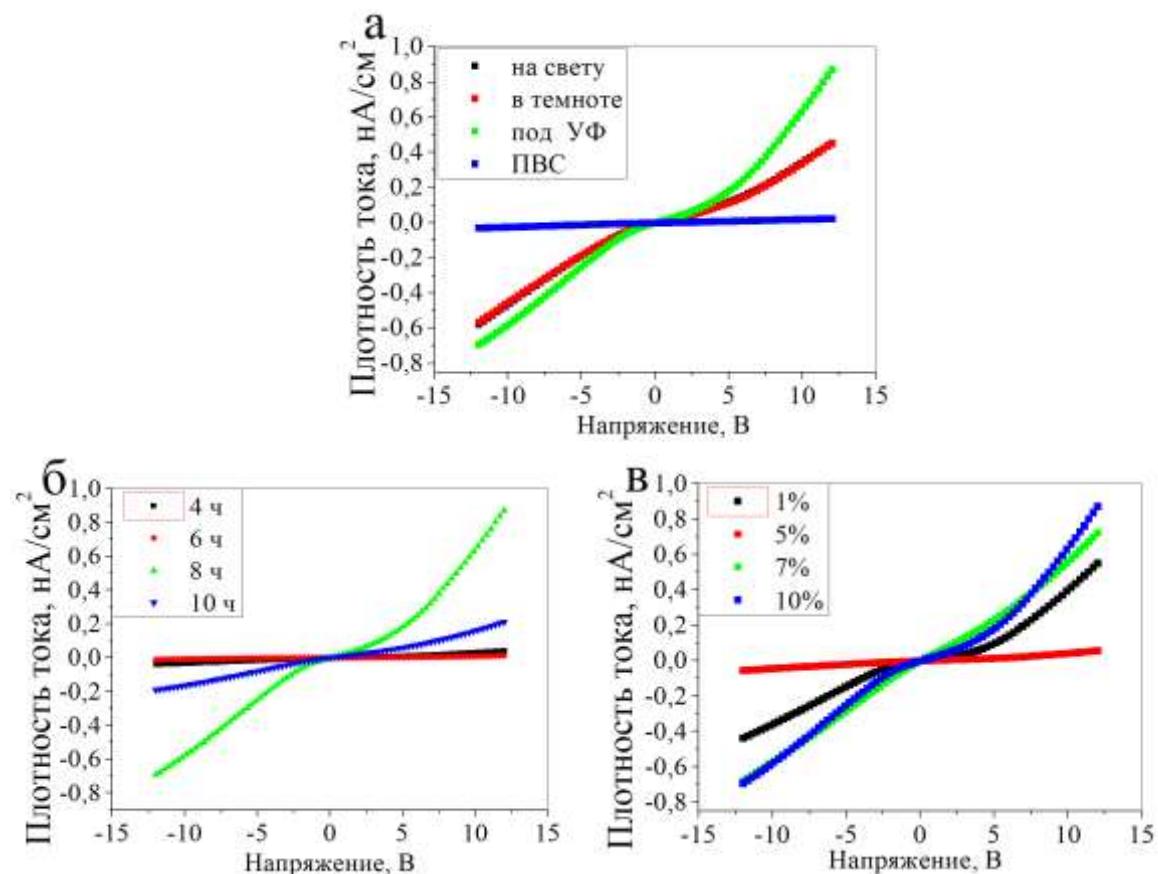


Рисунок 6 – ВАХ ПВС-УТ: а) 8 ч 10 %; б) пленки ПВС-УТ при разном времени синтеза УТ концентрация 10 % под УФ излучением; в) пленки ПВС-УТ при 8 ч синтеза УТ с разной концентрацией под УФ излучением

Figure 6 - I-V characterization PVS/CDs: a) 8 h 10%, b) PVS/CDs films at different times of synthesis of CDs and concentration of CDs 10 % under UV radiation, c) PVS/CDs films at 8 h of synthesis of CDs with different concentrations under UV radiation

Исследование вольт-амперных характеристик ПВС-УТ в зависимости от концентрации УТ в матрице ПВС показало, что значения плотности тока для концентраций 1, 7 и 10 % близки, а для 5 % значительно меньше.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании продемонстрировано, что люминесценция пленок из раствора УТ зависит от времени синтеза. Пленки УТ с наиболее популярным временем синтеза 8 ч обладают наименьшей люминесценцией (рис. 3). При исследовании пленок УТ со временем синтеза 4, 6, 8 и 10 ч оказалось, что наибольшей люминесценцией об-

ладают пленки со временем синтеза 10 ч при возбуждении лазером длиной волны 532 нм.

При внесении раствора УТ в матрицу поливинилового спирта на конечную люминесценцию влияет не только время синтеза УТ, но также соотношение УТ к ПВС, что продемонстрировано на рисунке 5, б. Оказалось, что при длине волны возбуждающего лазера 532 нм наибольшей люминесценцией обладают пленки с долей УТ 5 %, для лазера 473 нм – 10 %.

Для определения влияния времени синтеза на люминесцентные свойства пленок ПВС-УТ была выбрана доля УТ в ПВС 10 %, как обладающая наиболее интенсивной люминесценцией. Обнаружили, что люминесценция УТ с синтезом 10 ч, которая была

наибольшей для пленок УТ, при помещении в матрицу ПВС уменьшилась. Для 8 ч люминесценция осталась наименьшей среди исследуемых.

Для выявления электролюминесценции в структурах диодов необходимо, чтобы пленки УТ обладали электропроводностью. Для исследуемых нами образцов выяснили (рис. 6), что наибольшей плотностью тока обладают пленки ПВС-УТ со временем синтеза УТ 8 ч и долей УТ 10 %, причем обычное дневное освещение не влияет на значение тока, а УФ освещение увеличивает ток, протекающий через структуру Al/ПВС-УТ/Al ~ 2 раза.

Углеродные точки, введенные в матрицу ПВС, сохраняют свои люминесцентные свойства и обладают электропроводностью.

ВЫВОДЫ

Углеродные точки были синтезированы простым гидротермальным методом с использованием ЛК и этилендиамина в качестве прекурсора и легирующего агента соответственно. Полученные УТ имеют средний диаметр 80 нм и толщину 4 нм. Для образования твердых люминофоров была использована матрица ПВС, содержащая УТ. Наибольшей электропроводностью и люминесценцией обладают ПВС-УТ с долей УТ 10 %. Люминесценция исходного раствора УТ и ПВС-УТ зависит от изменения длины волны возбуждения. Несмотря на наименьшую люминесценцию, ПВС-УТ со временем синтеза 8 ч обладают наибольшей плотностью тока, что является перспективным для использования в качестве эмиссионного слоя при создании светодиодов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Dai, X., Deng, Y., Peng, X. & Jin, Y. (2017). Quantum-dot light-emitting diodes for large-area displays: towards the dawn of commercialization. *Advanced materials*, 29(14), 1607022. <https://doi.org/10.1002/adma.201607022>.
2. Dai, X., Zhang, Z., Jin, Y., Niu, Y., Cao, H., Liang, X. & Peng, X. (2014). Solution-processed, high-performance light-emitting diodes based on quantum dots. *Nature*, 515(7525), 96-99. <https://doi.org/10.1038/nature13829>.
3. Pietryga, J.M., Park, Y.S., Lim, J., Fidler, A.F., Bae, W.K., Brovelli, S. & Klimov, V.I. (2016). Spectroscopic and device aspects of nanocrystal quantum dots. *Chemical reviews*, 116(18), 10513-10622. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00169>.
4. Cho, H., Jeong, S.H., Park, M.H., Kim, Y.H., Wolf, C., Lee, C.L., ... & Lee, T.W. (2015). Overcoming the electroluminescence efficiency limitations of perovskite light-emitting diodes. *Science*, 350(6265), 1222-1225. DOI: 10.1126/science.aad1818.
5. Cao, Y., Wang, N., Tian, H., Guo, J., Wei, Y., Chen, H. & Huang, W. (2018). Perovskite lightemitting diodes based on spontaneously formed submicrometre-scale structures. *Nature*, 562(7726), 249-253. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0576-2>.
6. Lin, K., Xing, J., Quan, L.N., de Arquer, F.P.G., Gong, X., Lu, J., ... & Wei, Z. (2018). Perovskite light-emitting diodes with external quantum efficiency exceeding 20 per cent. *Nature*, 562(7726), 245-248. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0575-3>.
7. Zhao, B., Bai, S., Kim, V., Lamboll, R., Shivanna, R., Auras, F. & Di, D. (2018). High-efficiency perovskite-polymer bulk heterostructure light-emitting diodes. *Nature Photonics*, 12(12), 783-789. <https://doi.org/10.1038/s41566-018-0283-4>.
8. Xu, W., Hu, Q., Bai, S., Bao, C., Miao, Y., Yuan, Z. & Gao, F. (2019). Rational molecular passivation for high-performance perovskite light-emitting diodes. *Nature Photonics*, 13(6), 418-424. <https://doi.org/10.1038/s41566-019-0390-x>.
9. Yuan, F., Li, S., Fan, Z., Meng, X., Fan, L. & Yang, S. (2016). Shining carbon dots: Synthesis and biomedical and optoelectronic applications. *Nano Today*, 11(5), 565-586. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2016.08.006>.
10. Gao, F., Ma, S., Li, J., Dai, K., Xiao, X., Zhao, D. & Gong, W. (2017). Rational design of high quality citric acid-derived carbon dots by selecting efficient chemical structure motifs. *Carbon*, 112, 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.10.089>.
11. Dong, Y., Shao, J., Chen, C., Li, H., Wang, R., Chi, Y. & Chen, G. (2012). Blue luminescent graphene quantum dots and graphene oxide prepared by tuning the carbonization degree of citric acid. *Carbon*, 50 (12), 4738-4743. doi: 10.1016/j.carbon.2012.06.002.
12. Zhao, B., Wang, Z. & Tan, Z.A. (2020). Deep-blue carbon dots offer high colour purity. *Nature Photonics*, 14(3), 130-131. <https://doi.org/10.1038/s41566-020-0595-z>.
13. Wang, Z., Yuan, F., Li, X., Li Y., Zhong, H., Fan, L. & Yang, S. (2017). 53% efficient red emissive carbon quantum dots for high color rendering and stable warm white-light-emitting diodes. *Advanced Materials*, 29(37), 1702910. <https://doi.org/10.1002/adma.201702910>.
14. Tian, Z., Zhang, X., Li, D., Zhou, D., Jing, P., Shen, D. & Rogach, A.L. (2017). Full-color inorganic carbon dot phosphors for white-light-emitting diodes. *Advanced Optical Materials*, 5(19), 1700416. <https://doi.org/10.1002/adom.201700416>.
15. Wang, J., Zhang, F., Wang, Y., Yang, Y. & Liu, X. (2018). Efficient resistance against solid-state quenching of carbon dots towards white light emitting diodes by physical embedding into silica. *Carbon*, 126, 426-436. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.10.041>.
16. Liu, Y., Zhang, M., Wu, Y., Zhang, R., Cao, Y., Xu, X. & Xu, Q. (2019). Multicolor tunable highly luminescent carbon dots for remote force measurement and white light emitting diodes. *Chem-*

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК В МАТРИЦЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

- cal Communications, 55(81), 12164-12167. <https://doi.org/10.1039/C9CC05581A>.
17. Wang, Q., Gao, Y., Wang, B., Guo, Y., Ahmad, U., Wang, Y. & Zhou, G. (2020). S, N-Codoped oil-soluble fluorescent carbon dots for a high color-rendering WLED. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(13), 4343-4349. <https://doi.org/10.1039/D0TC00016G>.
18. Bagheri, Z., Ehtesabi, H., Rahmandoust, M., Ahadian, M.M., Hallaji, Z., Eskandari, F. & Jokar, E. (2017). New insight into the concept of carbonization degree in synthesis of carbon dots to achieve facile smartphone based sensing platform. *Scientificreports*, 7(1), 1-11. DOI: 10.1038/s41598-017-11572-8.
19. Song, Y., Zhu, S., Zhang, S., Fu, Y., Wang, L., Zhao, X. & Yang, B. (2015). Investigation from chemical structure to photoluminescent mechanism: a type of carbon dots from the pyrolysis of citric acid and an amine. *Journal of Materials Chemistry C*, 3(23), 5976-5984. <https://doi.org/10.1039/C5TC00813A>.
20. Lin, C., Zhuang, Y., Li, W., Zhou, T.L. & Xie, R.J. (2019). Blue, green, and red full-color ultra-long afterglow in nitrogen-doped carbon dots. *Nanoscale*, 11(14), 6584-6590. <https://doi.org/10.1039/C8NR09672D>.
21. Zhou, X., Zhao, G., Tan, X., Qian, X., Zhang, T., Gui, J. & Xie, X. (2019). Nitrogen-doped carbon dots with high quantum yield for colorimetric and fluorometric detection of ferric ions and in a fluorescent ink. *Microchimica Acta*, 186, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00604-018-3176-9>.
22. Zhang, W., Shi, L., Liu, Y., Meng, X., Xu, H., Xu, Y. & Ding, T. (2017). Supramolecular interactions via hydrogen bonding contributing to citric-acid derived carbon dots with high quantum yield and sensitive photoluminescence. *RSC advances*, 7(33), 20345-20353. DOI: 10.1039/C7RA02160G.
23. Xu, J., Wang, C., Li, H. & Zhao, W. (2020). Synthesis of green-emitting carbon quantum dots with double carbon sources and their application as a fluorescent probe for selective detection of Cu²⁺ ions. *RSC advances*, 10(5), 2536-2544. DOI: 10.1039/C9RA08654D.
24. Li, C., Wang, Y., Zhang, X., Guo, X., Kang, X., Du, L. & Liu, Y. (2018). Red fluorescent carbon dots with phenylboronic acid tags for quick detection of Fe (III) in PC12 cells. *Journal of colloid and interface science*, 526, 487-496. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.05.017>.
25. Kim, M.C., Yu, K.S., Kim, J.J., Han, S.Y., Lee, N.S., Jeong, Y.G. & Kim, D.K. (2017). Highly Photoluminescent Nitrogen-Doped Carbon Dots Prepared by Hydrothermal Decomposition of Piperazine Citrate. (preprint) doi: 10.20944/preprints201709.0169.v1.
26. Ragazzon, G., Cadrel, A., Ushakova, E.V., Wang, Y., Guldi, D.M., Rogach, A.L. & Prato, M. (2021). Optical processes in carbon nanocolloids. *Chem*, 7(3), 606-628. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2020.11.012>.

Информация об авторах

М. Н. Егорова – н.с. УНТЛ «Графеновые нанотехнологии» Физико-технического института ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

И. И. Куркина – кандидат физико-математических наук, с.н.с. УНТЛ «Графеновые нанотехнологии» Физико-технического института ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

А. А. Дьяконов – кандидат технических наук, с.н.с. УНТЛ «Технологии полимерных нанокомпозитов» Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

Information about the authors

M.N. Egorova - researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Graphene nanotechnology" Institute of Physics and Technologies, NEFU.

I.I. Kurkina - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Graphene nanotechnology" Institute of Physics and Technologies, NEFU.

A.A. Dyakonov – Candidate of Technical Sciences, researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymernanocomposites", Institute of Natural Sciences.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07.01.2023; одобрена после рецензирования 13.03.2023; принятая к публикации 21.03.2023.

The article was received by the editorial board on 07 Jan 2023; approved after editing on 13 Mar 2023; accepted for publication on 21 Mar 2023.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абдуллина, А. А.	191	Кукушина К. Г.	223
Авраменко В. В.	185	Курбанова М. Г.	45
Акопян Г. С.	75	Куркина И. И.	245
Артемова Е. Н.	137	Ландиховская А. В.	51
Бадамшин А. М.	237	Лапшин Д. А.	200
Бадретдинова Г. Р.	207	Ли Н. Г.	37
Беляков А. А.	164	Мадышев И. Н.	191
Бец Ю. А.	67	Малкова А. В.	29
Биккулов Р. Я.	191	Малкова А. В.	145
Бобина Е. А.	215	Маринова Л. Г.	178
Бобченко В. И.	7	Мельникова Е. В.	164
Божко С. Д.	37	Мельникова Е. В.	164
Бондаренко Н. И.	15	Меренкова С. П.	59
Бояринева И. В.	7	Минакова Н. Н.	230
Бурак Л. Ч.	91	Мошинский А. И.	185
Бургонова О. Ю.	237	Мусина О. Н.	15
Васильев А. П.	178	Мухсим Мухим-заде	45
Вихрев Р. О.	171	Наумова Н. Л.	67
Власова К. В.	137	Носкова Ю. В.	145
Гладкина Н. П.	178	Полянский И. П.	171
Гурский И. А.	84	Резниченко И. Ю.	75
Данилаев М. П.	215	Рогачев Е. А.	223
Данилова С. Н.	178	Рожнов Е. Д.	151
Дмитриев А. В.	207	Рубцова Л. Н.	185
Дмитриева О. С.	191	Сивцев Д. В.	178
Дробышев С. В.	215	Сидорова Д. Н.	178
Дубинина Е. В.	20	Сизов И. Г.	171
Дудник Д. Е.	29	Сомин В. А.	200
Дьяконов А. А.	245	Спиридонов А. М.	178
Евдокимов И. Ю.	29	Стёпочкина В. Д.	7
Егорова М. Н.	245	Стуррова Ю. Г.	145
Еремин Е. Н.	223	Табакаев А. В.	106
Ерофеева Е. А.	137	Табакаева О. В.	106
Ершова Т. А.	37	Тарасова П. Н.	178
Желтухова Е. Ю.	123	Теорогова А. А.	84
Зинина О. В.	59	Терёхина А. В.	123
Зинуров В. Э.	191	Тихонов С. Л.	114
Илларионова Е. Е.	129	Тищенко Н. М.	223
Иркитова А. Н.	29	Троев И. П.	178
Казакова Н. В.	51	Туисов А. Г.	178
Карандашов С. А.	215	Туровская С. Н.	129
Кириллина М. П.	178	Усатюк Д. А.	15
Ковиевчак В. С.	237	Уткин М. О.	207
Козлякина А. С.	45	Ушканов А. А.	178
Колодина Е. В.	145	Хамагаева И. С.	7
Коляда А. А.	145	Харьков В. В.	207
Комарова Л. Ф.	200	Цыганкова Л. А.	185
Крикунова Л. Н.	20	Чернуха И. М.	114
Крутко А. А.	237	Чернышова А. Н.	37
Кручинин А. Г.	129	Ширманов М. В.	29
Крюк В. А.	45	Школьникова М. Н.	151
Крюк Р. В.	45	Щеголькова В. О.	145
Куклин В. А.	215		

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья объемом 5 страниц (по согласованию с редакцией, допускаются статьи объемом от 3 до 10 страниц), имеющая индекс УДК, аннотацию и ключевые слова на русском языке, перевод метаданных статьи на английский язык, сведения об авторах (ученой 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 — ученая степень, звание, место работы, телефон);

- 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 предоставить 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 14.04.2023. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.

Усл. п. л. 29,53. Тираж 100 экз. Заказ 2023 – 12.

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**