

ISSN 2226-910X  
E-ISSN 2310-1202

**ВЕСТНИК ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Вестник ВГУИТ*

*Proceedings of VSEI*

**PROCEEDINGS OF THE VORONEZH STATE UNIVERSITY  
OF ENGINEERING TECHNOLOGIES**

**2024**

*№*

**4**

16+

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»



**ВЕСТНИК  
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

---

**ВЕСТНИК ВГУИТ**

---

**2024, Том. 86, № 4**

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

---

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ  
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

**Воронеж  
2024**



Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

---

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

«VORONEZH STATE UNIVERSITY  
OF ENGINEERING TECHNOLOGIES»

**PROCEEDINGS  
OF THE VORONEZH STATE  
UNIVERSITY OF ENGINEERING TECHNOLOGIES**

---

**Proceedings of VSUET**

---

**2024, Vol. 86, No. 4**

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

---

FOUNDED IN 1938  
COMES 4 TIMES PER YEAR

**Voronezh  
2024**



**Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации  
для опубликования диссертационных исследований**

Письмо о Перечне рецензируемых научных изданий от 28.12.2018 г. (<https://goo-gl.ru/4XHR>)

Материалы журнала размещаются в  
БД РИНЦ, БД AGRIS – выборочно, ЭБС Лань, ЭБС IPRbooks, ЭБ КиберЛенинка, БД ВИНТИ РАН,  
НИС Соционет, БД Directory of Open Access Journals (DOAJ), БД Open Access scholarly Resources (ROAD),  
The European Library (TEL), БД AcademicKeys, Research Bible, БД EBSCO Publishing, Academic Keys

**Соответствие рубрик/разделов журнала Вестник ВГУИТ  
Номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.**

**1.1 Процессы и аппараты пищевых производств**

**4.3.1.** Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

**1.2 Пищевая биотехнология**

**4.3.3.** Пищевые системы (технические науки)

**4.3.5.** Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

**2. Химическая технология**

**2.6.7.** Технология неорганических веществ (технические науки)

**2.6.7.** Технология неорганических веществ (химические науки)

**2.6.10.** Технология органических веществ (химические науки)

**2.6.10.** Технология органических веществ (технические науки)

**2.6.11.** Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (химические науки)

**2.6.11.** Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

**2.6.12.** Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки)

**2.6.13.** Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

**2.6.13.** Процессы и аппараты химических технологий (физикоматематические науки)

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА**

---

**Председатель (Главный редактор):**

**КОРНЕЕВА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА** доктор биологических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, и.о. проректора по научной и инновационной деятельности, зав. кафедрой биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-2863-0771

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ РУБРИК**

**Процессы и аппараты пищевых производств**

**ОСТРИКОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ** (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**АЛЕКСЕЕВ ГЕННАДИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ** доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор факультета биотехнологий, научный руководитель образовательной программы «Процессы и аппараты пищевых производств», Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия) ORCID- 0000-0002-2867-108X

**АНТИПОВ СЕРГЕЙ ТИХОНОВИЧ** доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, заслуженный изобретатель РФ, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-8932-5922

**АХМЕДОВ МАГОМЕД ЭМИНОВИЧ** доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой товароведения и экспертизы, Дагестанский государственный технический университет (Махачкала, Россия)

**БРЕДИХИН СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ** доктор технических наук, профессор, кафедра процессы и аппараты перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

**ВАСИЛЕНКО ВИТАЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ** доктор технических наук, профессор, и.о. проректора по учебной работе, зав. кафедрой машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-1547-9814

**ВИНЧЕНЦО СТОРНЕЛЛИ** профессор, профессор кафедры электроники, Университет Л'Акуила (Аквила, Италия)

**ДРАННИКОВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ** доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств, декан инженерно-технического факультета, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**МАКСИМЕНКО ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ** доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям, заведующий кафедрой технологические машины и оборудование, Астраханский государственный технический университет (Астрахань, Россия)

**ПАНФИЛОВ ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ** доктор технических наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

**ПРЕЙС ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ** доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологические системы пищевых, полиграфических и упаковочных производств Тульский государственный университет, Политехнический институт, (Тула, Россия)

**ЧЕРТОВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ** доктор технических наук, профессор, советник при ректорате, зав. кафедрой технической механики, почетный работник высшего профессионального образования РФ, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**ШЕВЦОВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ** доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, профессор кафедры общепрофессиональных дисциплин, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, Россия)

#### **Пищевая биотехнология**

**АГАФОНОВ ГЕННАДИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ** доктор технических наук, профессор кафедры технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**АКСЕНОВА ЛАРИСА МИХАЙЛОВНА** доктор технических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник ВНИИ кондитерской промышленности (Москва, Россия)

**АМИРОВА ЭЛЛИ** доктор наук, основатель и генеральный директор Succinto Inc. (Ла-Меса, США) ORCID: 0000-0002-9377-3875

**АНТИПОВА ЛЮДМИЛА ВАСИЛЬЕВНА** (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-1416-0297

**БРЕНЧ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ** кандидат технических наук, доцент, декан инженерно-технологического факультета учреждения образования, Белорусский государственный аграрный технический университет (Минск, Беларусь) ORCID: 0000-0001-6604-9366

**ВАЙБХАВКУМАР ГАВАЛИ** доктор наук, постдокторант, фармакология, отделение внутренней медицины, Медицинский колледж (Цинциннати, США) ORCID: 0000-0002-7917-4913

**ВИКТОРОВА ЕЛЕНА ПАВЛОВНА** доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной и инновационной деятельности, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции (Краснодар, Россия)

**ГОЛУБЕВА ЛЮБОВЬ ВЛАДИМИРОВНА** доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**ДОНЧЕНКО ЛЮДМИЛА ВЛАДИМИРОВНА** доктор технических наук, профессор, профессор ВАК, профессор кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (Краснодар, Россия)

**ИЗТАЕВ АУЕЛБЕК** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии хлебопродуктов и перерабатывающих производств, директор НИИ пищевых технологий, Алматинский Технологический Университет (Алматы, Казахстан)

**ЙОРДАНОВ ДИНКО ГЕОРГИЕВ** доктор наук, доцент кафедры мясные и рыбные технологии, Университет пищевых технологий (Пловдив, Болгария) ORCID: 0000-0002-9300-6588

**КАЧАНОВА МИРОСЛАВА** доктор наук, профессор кафедры плодородства, виноградарства и экологии, Словацкий сельскохозяйственный университет (Нитра, Словакия), отдел биоэнергетики и пищевых технологий, Жешувский университет (Жешув, Польша) ORCID: 0000-0002-4460-0222

**КУЛЬНЕВА НАДЕЖДА ГРИГОРЬЕВНА** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**ЛИСИЦЫН АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ** доктор технических наук, профессор, академик РАН, лауреат Государственной премии РФ, директор ФГБНУ "ВНИИМП им. В.М. Горбатова" (Москва, Россия)

**МАГОМЕДОВ ГАЗИБЕГ ОМАРОВИЧ** доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, зав. кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**МАСЛОВ АЛЕКСАНДР** доктор медицинских наук, доцент кафедры генетики, Медицинский колледж Альберта Эйнштейна (Нью-Йорк, США) ORCID: 0000-0001-5402-8891

**МБАРГА МАНГА ДЖОЗЕФ АРСЕН** магистр агрономии, научный сотрудник кафедры микробиологии и вирусологии, Российский университет дружбы народов (Москва, Россия) ORCID: 0000-0001-9626-9247

**МИРОНЕСКУ МОНИКА** доктор наук, доцент, факультет сельскохозяйственных наук, пищевой промышленности и охраны окружающей среды, Университет «Лучиан Блага» (Сибиу, Румыния) ORCID: 0000-0002-0515-475X

**ОСПАНОВ АБДЫМАНАП АБУБАКИРОВИЧ** академик КазНАЕН, доктор технических наук, профессор, руководитель учебного научно-производственного Центра «Технология перерабатывающих производств», Казахский национальный аграрный университет (Алматы, Казахстан) ORCID: 0000-0002-3813-603X

**ПАНДА ВАНДАНА** доктор наук, доцент кафедры фармакологии, Ведущий фармацевтический колледж им. К. М. Кунднани (Мумбай, Индия) ORCID: 0000-0002-7016-7813

**ПЕТРОВ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ** доктор технических наук, профессор, академик РАН, директор ФГБНУ ВНИИ Технологии консервирования (Видное, Московская обл., Россия)

**РОДИОНОВА НАТАЛЬЯ СЕРГЕЕВНА** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сервиса и ресторанного бизнеса, декан факультета экономики и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-6940-7998

**СУНДАРРАДЖАН ПРИЯ** магистр наук, доцент кафедры естественных наук и биохимии, колледж Святого Ксавьера, Университет Мумбаи (Мумбаи, Индия)

**ХАТКО ЗУРЕТ НУРБИЕВНА** доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Майкопский государственный технологический университете, (Майкоп, Россия)

**ЭСРА КАПАНОГЛУ** доктор наук, доцент кафедры пищевой инженерии, Стамбульский технический университет (Стамбул, Турция) ORCID: 0000-0003-0335-9433

**Химическая технология**

**КАРМАНОВА ОЛЬГА ВИКТОРОВНА** (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**БИТЮКОВ ВИТАЛИЙ КСЕНОФОНОВИЧ** доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, советник при ректорате, профессор кафедры информационных и управляющих систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**ВАНИЕВ МАРАТ АБДУРАХМАНОВИЧ** доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой химии и технология переработки эластомеров, Волгоградский государственный технический университет, кафедра химия и технология переработки эластомеров (Волгоград, Россия)

**ДОРМЕКШИН ОЛЕГ БОРИСОВИЧ** доктор технических наук, профессор, лауреат Премии Национальной академии наук Беларуси, отличник народного образования Республики Беларусь, проректор по научной работе, зав. кафедрой технологии неорганических веществ и общей химической технологии, Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (Минск, Беларусь)

**КУЧМЕНКО ТАТЬЯНА АНАТОЛЬЕВНА** доктор химических наук, профессор, профессор РАН, зав. кафедрой физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**ЛЮСОВА ЛЮДМИЛА РОМУАЛЬДОВНА** доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой химии и технологии переработки эластомеров имени Ф.Ф. Кошелева, Московский технологический университет МИРЭА, Московский государственный университет тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

**МОКШИНА НАДЕЖДА ЯКОВЛЕВНА** доктор химических наук, доцент, профессор кафедры физики и химии, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0001-8409-024X

**НИКУЛИН СЕРГЕЙ САВВОИЧ** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии органического синтеза и высокомолекулярных соединений, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**ПРОКОПЧУК НИКОЛАЙ РОМАНОВИЧ** доктор химических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, зав. кафедрой технологии нефтехимического синтеза и переработки полимеров, Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (Минск, Беларусь)

**ПУГАЧЕВА ИННА НИКОЛАЕВНА** доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инженерной экологии, декан факультета экологии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**СУХАНОВ ПАВЕЛ ТИХОНОВИЧ** доктор химических наук, профессор, советник при ректорате по научно-методической деятельности, профессор кафедры физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-2588-9286

**ФРАНЧЕСКО ВЕЛЬО** профессор, профессор кафедры теории развития химических процессов, Университет Л'Аквила (Аквила, Италия)

Официальный сайт «Вестник ВГУИТ» [www.vestnik-vsuet.ru](http://www.vestnik-vsuet.ru)

Подписной индекс издания в агентстве "Роспечать" 70927

Ответственный секретарь: ДЕРКАНОСОВА А.А. (эл. почта: [post@vestnik-vsuet.ru](mailto:post@vestnik-vsuet.ru))

Учредитель: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-56830 от 29 января 2014 г.

---

Адрес университета, редакции, издательства и отдела полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

394036, Воронеж, пр. Революции д.19 ауд.11

тел./факс: (473) 255-37-16

E-mail: [post@vestnik-vsuet.ru](mailto:post@vestnik-vsuet.ru)

---

Сдано в набор 09.12.2024. Подписано в печать 20.12.2024

Выход в свет: 27.12.2024

Усл. печ. л. 39.81 Тираж 1500 экз. Заказ.

Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО

«Воронеж. гос. ун-т инж. технол.», 2024

**The magazine is included in the list of publications recommended  
by the Higher Attestation Commission**

**Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation  
for the publication of dissertation research**

Letter of the List of Peer-reviewed Scientific Publications from 28/12/2018. (<https://goo-gl.ru/4XHR>)

Journal materials are placed in

**RSCI DB, AGRIS DB - selectively, EB Doe, EBR IPRbooks, EB CyberLenink, DB VINITI RAS, NIS Socionet, Directory of Open Access Journals (DOAJ) database, Open Access scholarly Resources (ROAD) database, The European Library (TEL), AcademicKeys database, Research Bible, EBSCO Publishing database, Academic Keys**

**Correspondence of rubrics/sections of the journal Proceedings of VSUET  
The nomenclature of scientific specialties for which academic degrees are awarded.**

**1.1 Food production processes and apparatus**

**4.3.1.** Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

**1.2 Food biotechnology**

**4.3.3.** Food systems (engineering sciences)

**4.3.5.** Biotechnology of food and biologically active substances (technical sciences)

**2. Chemical technology**

**2.6.7.** Technology of inorganic substances (engineering sciences)

**2.6.7.** Technology of inorganic substances (chemical sciences)

**2.6.10.** Technology of organic substances (chemical sciences)

**2.6.10.** Technology of organic substances (engineering sciences)

**2.6.11.** Technology and processing of synthetic and natural polymers and composites (chemical sciences)

**2.6.11.** Technology and processing of synthetic and natural polymers and composites (technical sciences)

**2.6.12.** Chemical technology of fuels and high-energy substances (technical sciences)

**2.6.13.** Processes and apparatus of chemical technologies (technical sciences)

**2.6.13.** Processes and apparatuses of chemical technologies (physical and mathematical sciences)

---

**EDITORIAL COUNCIL**

**Chairman (Editor-in-chief):**

**KORNEEVA, OLGA SERGEEVNA** doctor of biological sciences, professor, honored worker of higher school of Russia, acting vice-rector for research and innovation, head of the department of biochemistry and biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-2863-0771

**EDITORIAL TEAM**

**Processes and devices for food production**

**OSTRIKOV, ALEKSANDR NIKOLAEVICH** Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of Russia, Head of Department Technology of fats, processes and equipment of chemical and food production, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**ALEKSEEV, GENNADY VALENTINOVICH** Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Professor of the Faculty of Biotechnology, Scientific Supervisor of the educational program "Processes and Apparatus for Food Production", St. Petersburg National Research University ITMO (St. Petersburg, Russia) ORCID: 0000-0002-2867-108X

**ANTIPOV, SERGEY TIKHONOVICH** Doctor of Technical Sciences, professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, honored inventor of the Russian Federation, Professor of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, Voronezh state university of engineering technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-8932-5922

**AHMEDOV, MAGOMED EMINOVICH** doctor of technical sciences, Professor, head. Department of Commodity Science and Expertise, Dagestan State Technical University (Makhachkala, Russia)

**BREDIKHIN, SERGEY ALEKSEEVICH** Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Processes and Apparatuses of Processing Industries, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after them. K.A. Timiryazev (Moscow, Russia)

**VASILENKO, VITALII NIKOLAEVICH** Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Academic Affairs. Head of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, the Dean of the Technology Faculty, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-1547-9814

**VINCENZO STORNELLI** Professor, Professor of the Department of Electronics, University of L'Aquila (L'Aquila, Italy)

**DRANNIKOV, ALEKSEJ VIKTOROVICH** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, Dean of the Faculty of Food Machines and Automata, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**MAKSIMENKO, YURI ALEKSANDROVICH** Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, Head of the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University (Astrakhan, Russia)

**PANFILOV, VIKTOR ALEKSANDROVICH** Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Honored Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Professor of the Department Processes and Apparatuses of Processing Industries, Russian State Agrarian University -Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev (Moscow, Russia)

**PRICE, VLADIMIR VIKTOROVICH** Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technological Systems of Food, Printing and Packaging Production Tula State University, Polytechnic Institute, (Tula, Russia)

**CHERTOV, EVGENY DMITRIEVICH** Doctor of Technical Sciences, Professor, Advisor to the administration, Head of the Department of Technical Mechanics, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Voronezh state university of engineering technologies (Voronezh, Russia)

**SHEVTCOV, ALEKSANDR ANATOLEVICH** Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Russian Federation, Professor of General Professional Disciplines, Air Force Academy named after Prof. N. E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia)

### **Food biotechnology**

**AGAFONOV, GENNADII VIACHESLAVOVICH** Doctor of Technical Sciences, prof., Department of Technology of fermentation and sugar industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**AKSENOVA, LARISA MIKHAILOVNA** Doctor of Technical Sciences, professor, Academician-secretary of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Chief research officer at the Research Institute of Confectionery Industry (Moscow, Russia)

**AMIROVA ELLIE DAOM**, PhD, Diplomate of OM, LAc), Founder and CEO of Succuro Inc. (La Mesa, USA) ORCID: 0000-0002-9377-3875

**ANTIPOVA, LIUDMILA VASILEVNA** Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Department of technology of animal origin products, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**BRENCH, ANDREY ALEXANDROVICH** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Engineering and Technology of the Educational Institution, Belarusian State Agrarian Technical University (Minsk, Belarus) ORCID: 0000-0001-6604-9366

**VAIBHAVKUMAR, SHANTARAM GAWALI**, M.Pharm., Ph.D., Postdoctoral Fellow, Pharmacology, Department of Internal Medicine, College of Medicine, India affiliated to University of Cincinnati. (Cincinnati, USA) ORCID: 0000-0002-7917-4913

**VICTOROVA, ELENA PAVLOVNA** Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific and Innovation Activities North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Wine, Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products (Krasnodar, Russia)

**GOLUBEVA, LIUBOV VLADIMIROVNA** doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of Russia, Professor of the Department of technology of animal origin products, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**DONCHENKO, LYUDMILA VLADIMIROVNA** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of VAK, Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Plant Production, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina (Krasnodar, Russia)

**IZTAEV AUELBEK** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of bakeries and processing industries, director of the Research Institute of Food Technologies, Almaty Technological University (Almaty, Kazakhstan)

**YORDANOV DINKO GEORGIEV** PhD., Associate Professor, meat and fish technology, University of Food Technologies (Plovdiv, Bulgaria) ORCID: 0000-0002-9300-6588

**KACANIOVA MIROSLAVA** PhD., Department of Fruit sciences, Viticulture and Enology, Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Slovak University of Agriculture (Nitra, Slovakia), full professor, Department of Bioenergy and Food Technology, Faculty of Biology and Agriculture, University of Rzeszow (Rzeszow, Poland) ORCID: 0000-0002-4460-0222

**KULNEVA, NADEZHDA GRIGOREVNA** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of fermentation and sugar industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**LISITSYN, ANDREI BORISOVICH** Doctor Of Technical Sciences, Professor, Academician Of The Russian Academy Of Sciences, Laureate Of The State Prize Of The Russian Federation, Director Of The All-Russian Research Institute Of Meat Industry Named After V. M. Gorbатов. (Moscow, Russia)

**MAGOMEDOV, GAZIBEG OMAROVICH** doctor of Technical Sciences, prof., Honored Worker of Higher Professional Education of the Russia, Head of the Department of Technology of bakery, confectionery, pasta and grain-processing industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**MASLOV ALEXANDER** MD/PhD, Research Assistant Professor, Department of Genetics, Albert Einstein College of Medicine (New York, USA) ORCID 0000-0001-5402-8891

**MBARGA MANGA JOSEPH ARSENE** master of Science in Agronomy, Researcher in the Department of Microbiology and Virology, People's Friendship University of Russia (Moscow, Russia) ORCID: 0000-0001-9626-9247

**MIRONESCU MONICA** PhD, Associate Professor, Faculty of Agricultural Sciences, Food Industry and Environmental Protection, Lucian Blaga University of Sibiu (Sibiu, Romania) ORCID: 0000-0002-0515-475X

**OSPANOV, ABDYMANAP ABUBAKIROVICH** Academician KazNAEN, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Educational Research and Production Center "Technology of Processing Industries", Kazakh National Agrarian University (Almaty, Kazakhstan) ORCID: 0000-0002-3813-603X

**PANDA, SANJEEV VANDANA** Ph.D., Associate Professor, Pharmacology, Prin. K. M. Kundnani College of Pharmacy (Mumbai, India) ORCID: 0000-0002-7016-7813

**PETROV, ANREJ NIKOLAEVICH** Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the All-Russian Scientific Research Institute of Preserving Technology (Vidnoe, Moscow Region, Russia)

**RODIONOVA, NATALIA SERGEEVNA** Doctor of Technical Science, Prof., Professor of the Department of service and restaurant business, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**SUNDARRAJAN PRIYA** M.Sc, Ph.D., Associate Professor, Department of Life Science and Biochemistry, St. Xavier's College, India affiliated to University of Mumbai. (Mumbai, India)

**KHATKO, ZURET NURBIEVNA** Doctor of Technical Sciences, associate professor, Head of the department of manufacturing technology and processing of agricultural products, Maikop State Technological University (Maikop, Russia)

**ESRA CAPANOGLU** Ph.D., Associate Professor, Istanbul Technical University, Food Engineering Department (Istanbul, Turkey) ORCID: 0000-0003-0335-9433

**Chemical Technology**

**KARMANOVA, OLGA VIKTOROVNA** doctor of Technical Sciences, prof., Head of the Department of Chemistry and Chemical Technology of organic compounds and Polymers processing, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**BITIUKOV, VITALII KSENOFONTOVICH** Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of Russia, Advisor to the administration, Professor of the Department of Information and Control Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**VANIEV, MARAT ABDURAKHMANOVICH** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head. Department of Chemistry and Technology of Elastomer Processing, Volgograd State Technical University, Department of Chemistry and Technology of Elastomer Processing (Volgograd, Russia)

**DORMEKSHIN, OLEG BORISOVICH** Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the National Academy of Sciences of Belarus, Excellence in Public Education of the Republic of Belarus, Vice Rector for Research, head of the department of technology of inorganic substances and general chemical technology, Educational Establishment "Belarusian State Technological University" (Minsk, Belarus)

**KUCHMENKO, TATIANA ANATOLEVNA** doctor of Chemical Sciences, Prof., Head of the Department of Physical and Analytical Chemistry, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**LYUSOVA, LYUDMILA ROMUALDOVNA** Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. Department of Chemistry and Technology of Elastomers Processing named after F.F. Kosheleva, Moscow Technological University MIREA, Moscow State University of Fine Chemical Technologies. M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

**MOKSHINA, NADEZHDA IAKOVLEVNA** doctor of Chemical Sciences, associate professor, professor of the Department of Physics and Chemistry, Air Force Academy named after Prof. N. E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0001-8409-024X

**NIKULIN, SERGEI SAVVOVICH** doctor of Technical Sciences, prof., Professor of the Department of Technology of Organic Synthesis and macromolecular compounds, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**PROKOPCHUK, NIKOLAI ROMANOVICH** Doctor of Chemical Sciences, Professor corresponding member of National Academy of Sciences of Belarus, Head of the department of Technology of petrochemical synthesis and polymers processing, Educational Establishment "Belarusian State Technological University" (Minsk, Belarus)

**PUGACHEVA, INNA NIKOLAEVNA** doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Engineering, Dean of the Faculty of Ecology and Chemical Technology, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**SUKHANOV, PAVEL TIKHONOVICH** doctor of Chemical Sciences, Professor, Vice Rector for Research and Innovation. Professor of the Department of Physical and Analytical Chemistry, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**FRANCESCO VEGLIO** Professor, Professor of the Department of Theory of Chemical Processes development, University of L'Aquila, (L'Aquila, Italy)

Official site: [www.vestnik-vsuet.ru](http://www.vestnik-vsuet.ru)

Subscription index of the publication in the Rospechat agency 70927

Executive Secretary: DERKANOSOVA A.A. (email post office: [post@vestnik-vsuet.ru](mailto:post@vestnik-vsuet.ru))

Founder: Voronezh State University of Engineering Technologies

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications: Certificate of Registration III № ФС77-56830 January 29, 2014

---

Address of the university, editorial office, publishing house and printing department of FSBEI HE "VGUIT"

394036, Voronezh, pr. Revolution 19, room 11

tel / fax: (473) 255-37-16

E-mail: [post@vestnik-vsuet.ru](mailto:post@vestnik-vsuet.ru)

---

Put in set 09.12.2024. Signed to print 20.12.2024

The publication: 27.12.2024

Conditional Print l. 39,81 Circulation 1500 copies.

Price - Free.

© FSBEI HE

"Voronezh State University  
of Engineering  
Technologies", 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Леонова М.В., Зеленева Ю.В. Анализ фактических причин бомбажа консервов из морской капусты | 15 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Мячикова Н.И., Болтенко Ю.А., Чуркина Я.В., Фролова Л.Н., Чернова М.В. Технология и оценка качества желеобразованных десертов для веганов                                                                                                              | 22  |
| Коломейцева Н.А., Дерканосова А.А., Глотова И.А., Куцова А.Е. Исследование ассортимента и определение синтетических азокрасителей в составе киселей – концентратов сладких блюд                                                                        | 32  |
| Мижева А.А., Фоменко И.А., Карачун А.И., Краснова В.В. Обзор способов извлечения биологически активных соединений из продуктов переработки льняного семени                                                                                             | 40  |
| Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Евдокимова О.В., Черемушкина И.В. Разработка рецептуры и технологии печенья овсяного диетического                                                                                                                       | 52  |
| Гребенщиков А.В., Чусова А.Е., Иванова В.А., Пронькина А.А., Проскурина О.П., Василенко Л.И. Влияние безалкогольных напитков на основе супернатантов томатов на морфофункциональное состояние отдельных органов животных в эксперименте <i>in vivo</i> | 58  |
| Устинова Ю.В., Просин М.В., Бородулин Д.М., Доня Д.В. Прогнозирование развития технологических процессов на примере ведущего оборудования линии производства конфет вафель с начинкой                                                                  | 68  |
| Кузнецова Т.А., Мустафакулов М.Х. Увеличение содержания каротиноидов в биомассе <i>Vischeria Punctata Vischer</i> при культивировании в лабораторном биореакторе                                                                                       | 75  |
| Елисеева Л.Г., Симиная Д.В., Сидоренко Ю.И., Токарев П.И., Сантурян Т.А. Разработка подходов биофортификации микрорезели при выращивании в фитотроне городского типа                                                                                   | 84  |
| Калачев С.Л., Леонова И.Б., Ибрагимова Н.А., Фукина О.В. Интегральная оценка безопасности питьевой воды биотестированием                                                                                                                               | 93  |
| Лесникова Н.А., Девяткин Д.И., Мысаков Д.С. Обоснование используемого сырья и компонентного состава для производства обогащенных хлебобулочных изделий                                                                                                 | 108 |
| Безлер Н.В., Федорова О.А., Санеева Ю.Н., Цомая В.Д. Влияние культур <i>Bacillus Subtilis</i> на развитие болезней листового аппарата сахарной свеклы                                                                                                  | 116 |
| Шмалько Н.А., Ваницкая Т.В., Кудрявцева Л.А., Никитин И.А., Пономарева Л.Ф., Соловьева Е.А. Технология приготовления пшеничного хлеба из цельнозерновой муки                                                                                           | 122 |
| Безлер Н.В., Федорова О.А., Санеева Ю.Н., Цомая В.Д. Исследование способности культур ризобактерий колонизировать корневую систему сахарной свеклы                                                                                                     | 136 |
| Шмалько Н.А., Демченко С.В., Кудрявцева Л.А., Никитин И.А., Бобкова Е.Ю., Батищева Н.В. Изучение процесса изготовления ржано-пшеничного и пшенично-ржаного хлеба из цельнозерновой муки                                                                | 142 |
| Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Евдокимова О.В., Павлова А.Е., Павлова Е.Е. Разработка рецептуры и технологии бисквита шоколадного со сниженной калорийностью                                                                                           | 155 |
| Назимов А.С., Назимов Д.С., Мотовилов О.К. Сравнительная оценка экономической эффективности проекта по производству начинок из плодов и ягод дикорастущих растений в Кемеровской области                                                               | 163 |
| Гребенщиков А.В., Чусова А.Е., Иванова В.А., Пронькина А.А. Местно-раздражающие и аллергенные свойства супернатантов томатов                                                                                                                           | 171 |
| Студеникина Л.Н., Корчагин В.И., Савина А.А., Поваляева Т.Р., Мельников А.А. Влияние низкогидролизованного поливинилового спирта на неадаптированный биоценоз активного ила                                                                            | 178 |
| Соколова Е.В., Максименко Ю.А., Коннова О.И. Интенсификация процесса производства экстракта солодкового корня                                                                                                                                          | 185 |
| Казарцев Д.А., Славянский А.А., Ключников А.И., Лебедева Н.Н., Лукин Н.Д., Пучкова Т.С. Технология и аппаратное оформление производства инулинсодержащего порошка                                                                                      | 191 |

## **ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

- Кузнецова И.В., Дошина А.В., Плотникова С.Е., Горбунова Е.М., Нифталиев С.И., 201**  
**Сертаков В.С.** Получение лицевого керамического кирпича с улучшенными свойствами
- Карманова О.В., Голякевич А.А., Шашок Ж.С., Лешкевич А.А., Сафонов К.Д. Влияние 207**  
дисперсности комплексного активатора вулканизации на свойства резиновых смесей и резин
- Мешалкин В.П., Бабаков Е.А. Инжиниринг усовершенствованной модели хемосорбционно- 215**  
адсорбционной химико-технологической системы рекуперации летучих органических соединений из газовой нефтетанкерной смеси
- Лобасенко Б.А., Шафрай А.В., Семенов А.Г., Галязимов П.А. Применение нейронных сетей 222**  
при создании аппаратных схем мембранных установок
- Григорьев Д.В., Гудкин А.В., Хоманец Е.В., Успенская М.В., Олехнович Р.О., Сивцов Е.В. 230**  
Кинетика высвобождения сульфаниламида из полимерного композита на основе акрилового гидрогеля и детонационных наноалмазов
- Пушница А.С., Власов В.В., Москалев А.С. Перспективы разработки топливостойких 239**  
эластомерных материалов для применения в регионах с холодным климатом

## CONTENTS

### PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Leonova M.V., Zeleneva Y.V.</b> Analysis of the actual causes of canned seaweed bombage | 15 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### FOOD BIOTECHNOLOGY

|                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Myachikova N.I., Boltenko Yu.A., Churkina Ya.V., Frolova L.N., Chernova M.V.</b> Technology and quality assessment of gelled desserts for vegans                                                                                                | 22  |
| <b>Kolomeytseva N.A., Derkanosova A.A., Glotova I.A., Kutsova A.E.</b> Research of the assortment and determination of synthetic azo dyes in the composition of jelly concentrates of sweet dishes                                                 | 32  |
| <b>Mizheva A.A., Fomenko I.A., Karachun A.I., Krasnova V.V.</b> Review of methods for extracting biologically active compounds from flaxseed processing products                                                                                   | 40  |
| <b>Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Evdokimova O.V., Cheremushkina I.V.</b> Development of the formulation and technology of oatmeal diet cookies                                                                                                    | 52  |
| <b>Grebenshchikov A.V., Chusova A.E., Ivanova V.A., Pronkina A.A., Proskurina O.P., Vasilenko L.I.</b> The effect of soft drinks based on tomato supernatant on the morpho-functional state of individual animal organs <i>in vivo</i> experiments | 58  |
| <b>Ustinova Y.V., Prosin M.V., Borodulin D.M., Donya D.V.</b> Forecasting the development of technological processes using the example of the leading equipment of the candy waffle production line with filling                                   | 68  |
| <b>Kuznetsova T.A., Mustafakulov M.X.</b> Increase in carotenoid content in <i>Vischeria punctata</i> Vischer biomass during cultivation in a laboratory bioreactor                                                                                | 75  |
| <b>Eliseeva L.G., Simina D.V., Sidorenko Yu.I., Tokarev P.I., Santuryan T.A.</b> Development of approaches for biofortification of microgreens when growing in an urban type phytotron                                                             | 84  |
| <b>Kalachev S.L., Leonova I.B., Ibragimova N.A., Fukina O.V.</b> Integrated assessment of drinking water safety by biotesting                                                                                                                      | 93  |
| <b>Lesnikova N.A., Devyatkin D.I., Mysakov D.S.</b> Justification of the raw materials used and the component composition for the production of enriched bakery products                                                                           | 108 |
| <b>Bezler N.V., Fedorova O.A., Saneeva Yu.</b> Influence of <i>Bacillus Subtilis</i> cultures on the development of diseases of the leaf apparatus of sugar beet                                                                                   | 116 |
| <b>Shmal'ko N.A., Vanitskaya T.V., Kudryavtseva L.A., Nikitin I.A., Ponomareva L.F., Solov'eva E.A.</b> The technology of making wheat bread made of whole grain flour                                                                             | 122 |
| <b>Bezler N.V., Fedorova O.A., Saneeva Y.N., Tsomaya V.D.</b> Study of the ability of cultures of rhizobacteria to colonize the root system of sugar beet                                                                                          | 136 |
| <b>Shmal'ko N.A., Demchenko S.V., Kudryavtseva L.A., Nikitin I.A., Bobkova E.Yu., Batisheva N.V.</b> Study of the process of making rye-wheat and wheat-rye bread from whole grain flour                                                           | 142 |
| <b>Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Evdokimova O.V., Pavlova A.E., Pavlova E.E.</b> Development of the formulation and technology of oatmeal diet cookies                                                                                            | 155 |
| <b>Nazimov A.S., Nazimov D.S., Motovilov O.K.</b> Comparative assessment of the economic efficiency of the project for the production of fillings from fruits and berries of wild plants in the Kemerovo region                                    | 163 |
| <b>Grebenshchikov A.V., Chusova A.E., Ivanova V.A., Pronkina A.A.</b> Topically irritating and allergenic properties of tomato supernatants                                                                                                        | 171 |
| <b>Studenikina L.N., Korchagin V.I., Savina A.A., Povalyaeva T.R., Melnikov A.A.</b> The effect of low hydrolyzed polyvinyl alcohol on the unadapted biocenosis of activated sludge                                                                | 178 |
| <b>Sokolova E.V., Maksimenko Yu.A., Konnova O.I.</b> Intensification of the licorice extract production process                                                                                                                                    | 185 |
| <b>Kazartsev D.A., Slavyanskiy A.A., Klyuchnikov A.I., Lebedeva N.N., Lukin N.D., Puchkova T.S.</b> Technology and equipment for the production of inulincontaining powder                                                                         | 191 |

### CHEMICAL TECHNOLOGY

|                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Kuznetsova I.V., Doshina A.V., Plotnikova S.E., Gorbunova E.M., Niftaliev S.I., Sertakov V.S.</b> Obtaining a ceramic face brick with improved properties                                     | 201 |
| <b>Karmanova O.V., Golyakevich A.A., Shashok J.S., Leshkevich A.A., Safonov K.D.</b> Influence of dispersibility of complex vulcanization activator on properties of rubber mixtures and rubbers | 207 |

|                                                                                                                                                                                                                                                   |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Meshalkin V.P., Babakov E.A.</b> Engineering of an improved model of a chemisorption-adsorption chemical-technological system for the recovery of volatile organic compounds from a gas oil tanker mixture                                     | <b>215</b> |
| <b>Lobasenko B.A., Shafrai A.V., Semyonov A.G., Galyazimov P.A.</b> Application of neural networks in creating hardware schemes of membrane plants                                                                                                | <b>222</b> |
| <b>Grigoriev D.V., Gudkin A.V., Khomanets E.V., Uspenskaya M.V., Olekhnovich R.O., Sivtsov E.V.</b> Kinetics of sulphanilamide release from polymer composite material for medical purpose based on acrylic hydrogels and detonating nanodiamonds | <b>230</b> |
| <b>Pushnitsa A.S., Vlasov V.V., Moskalev A.S.</b> Potential for development of fuel-resistant elastomeric materials for use in regions with severe climate conditions                                                                             | <b>239</b> |

## Процессы и аппараты пищевых производств

## Processes and devices for food production

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-4-15-21>

Оригинальная статья/Research article

УДК 664.8/.9

Open Access

Available online at [vestnik-vsuet.ru](http://vestnik-vsuet.ru)Анализ фактических причин бомбажа консервов  
из морской капустыМария В. Леонова<sup>1, 2</sup>

marialeonova395@gmail.com

ID 0000-0002-1377-5070

Юлия В. Зеленева<sup>1</sup>

zelenewa@mail.ru

ID 0000-0001-9716-288X

1 Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, 392036, Россия

2 ООО «РКЗ - Вкусные консервы», р-н Южный Промузел, 7, г. Рязань, 390011, Россия

**Аннотация.** Цель данного исследования заключается в выявлении причин бомбажа консервов «Салат «Дальневосточный» из морской капусты». В рамках работы были проведены исследования консервов по общепринятым методикам испытания на герметичность, на промышленную стерильность, а также исследования лакокрасочного покрытия консервов с готовым консервированным продуктом и определения химической устойчивости жестяной тары, поступившей на производство данной продукции. Проведены исследования лакокрасочного покрытия жестяной тары с консервированной продукцией и жестяной тары после стерилизации с модельными средами. По результатам проведенных испытаний установлено, что консервы соответствуют требованиям промышленной стерильности. Однако причиной бомбажа консервированной продукции «Салат «Дальневосточный» из морской капусты» является накопление газообразного водорода, выделяющегося при контакте заливки, содержащей в составе уксусную кислоту, с поверхностью металла. Это происходит вследствие разрушения лакокрасочного покрытия внутренней поверхности. Разрушение лакокрасочного покрытия также является причиной коррозии внутренней поверхности банок с консервированной продукцией. Причиной разрушения лакокрасочного покрытия является складчатая деформация металла, приводящая к нарушению адгезии и механическим повреждениям лакокрасочного покрытия. Важно отметить, что такие повреждения могут существенно снижать срок хранения и безопасность консервов. Для предотвращения возможной порчи консервов из-за химического бомбажа необходим тщательный входной контроль жестяной тары на предприятии. Такой контроль позволит своевременно выявлять дефекты и обеспечивать высокое качество готовой продукции, что в свою очередь повысит доверие потребителей к данной линейке консервов. Кроме того, результаты исследования могут быть полезны для дальнейших разработок в области упаковки и хранения консервированных продуктов.

**Ключевые слова:** консервы, банки (тара), модельные среды, бомбаж, коррозия, микроскопия, промышленная стерильность.

## Analysis of the actual causes of canned seaweed bombage

Maria V. Leonova<sup>1, 2</sup>

marialeonova395@gmail.com

ID 0000-0002-1377-5070

Yulia V. Zeleneva<sup>1</sup>

zelenewa@mail.ru

ID 0000-0001-9716-288X

1 Derzhavin Tambov State University, Internatsionalnaya St., 33, Tambov, 392036, Russia

2 ООО «РКЗ - Вкусные консервы», Южный Промузел, 7, Рязань, 390011, Россия

**Abstract.** The objective of the study is to investigate the reason for the bombing of canned food "Far Eastern salad from seaweed". Studies of canned food according to generally accepted methods of testing for tightness, for industrial sterility, studies of the paint coating of canned food with a finished canned product and determination of the chemical resistance of tin containers used to produce these products. Violations of the paint coating of tin containers with canned products and tin containers after sterilization with model media are clearly demonstrated. According to the results of the tests, it was found that canned food meets the requirements of industrial sterility and the reason for the bombing of canned products "Far Eastern Salad from seaweed" is the accumulation of hydrogen gas released upon contact of the filling containing acetic acid with the metal surface due to the destruction of the paint coating of the inner surface. The destruction of the paintwork is also a cause of corrosion of the inner surface of cans with canned products. The reason for the destruction of the paintwork is the folded deformation of the metal, which leads to a violation of adhesion and mechanical damage to the paintwork. To prevent possible spoilage of canned food due to chemical bombing, careful entrance control of tin containers at the enterprise is necessary.

**Keywords:** canned food, cans (containers), model media, bombage, corrosion, microscopy, industrial sterility.

## Введение

Сложно представить современный мир без консервированной продукции, тем более сейчас наблюдается огромный спрос на продукцию из водорослей [1]. Ламинария богата минералами и микроэлементами – йод, железо, кобальт, марганец и другие, а также витаминами – А, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>12</sub>, С и Е [2]. На перерабатывающие предприятия она приходит в сухом или замороженном виде. Далее идет подготовка к консервированию, порционирование, герметизация, мойка закатанных банок, и направление на стерилизацию [3,9-11].

Для цитирования

Леонова М.В., Зеленева Ю.В. Анализ фактических причин бомбажа консервов из морской капусты // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 15–21. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-15-21

Чаще для консервирования выбирают жестяную тару. Основная проблема ее использования – агрессивное воздействие, происходящее при контакте пищевых ингредиентов с лакокрасочным покрытием поверхности банки. И в случае некачественного внутреннего покрытия возможен химический бомбаж консервов [4,12-15].

Химический бомбаж представляет собой процесс накопления водорода внутри банки, вызванный взаимодействием кислот, содержащихся в консервируемом продукте, с жестяной поверхностью. Данный процесс, как правило, сопровождается коррозией металла, выделением

For citation

Leonova M.V., Zeleneva Y.V. Analysis of the actual causes of canned seaweed bombage. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 15–21. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-15-21

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

водорода, ухудшением качества продукта и угрозой безопасности потребителям продукта [5,16]. Накопление газа может привести к взрыву банки и образованию токсичных веществ. Следует отметить, что это явление развивается постепенно и становится заметным только при длительном хранении изделия [5, 6,17-19].

Вздутие концов банки консервов также возможно из-за развития газообразующей микрофлоры в продукте, которая осталась жизнеспособна после стерилизации консервов, так проявляется микробиологический бомбаж. Идентификация химического и микробиологического видов бомбажа имеет свои трудности, необходимы одновременные микробиологические исследования консервов и исследования состояния тары [7, 8, 20].

**Цель работы** – выявление причина бомбажа консервов «Салат «Дальневосточный» из морской капусты».

### Материалы и методы

Объектом исследований послужили банки №5 с консервированной продукцией «Салат «Дальневосточный» из морской капусты»; дата изготовления консервов – 06.03.23; и банки металлические цельные для консервов, обозначение по ГОСТ 5981–2011 – № 5; изготовлена из белой консервной жести ЭЖК I; лакокрасочное покрытие внутренней поверхности – система «ЭП-5147 + ЭП-547» (5,0 г/м<sup>2</sup> + 4,0 г/м<sup>2</sup>); лакокрасочное покрытие наружной поверхности – лак ЭП-547 (7,0 г/м<sup>2</sup>). Микробиологические исследования консервированных продуктов были осуществлены в соответствии с требованиями ГОСТ 30425–97 «Консервы. Метод определения промышленной стерильности». Кроме того, была проведена оценка герметичности упаковки согласно ГОСТ 8756.18–2017 «Консервы. Методы определения внешнего вида, герметичности упаковки и состояния внутренней поверхности упаковки». Все испытания проводились на базе бактериологической лаборатории ООО «РКЗ-Вкусные консервы», расположенной в городе Рязани.

Анализ внешнего вида и состояния поверхностей осуществлялся как визуально, так и с применением оптического стереомикроскопа TSZ-3590S FA Bino. Химическая устойчивость лакокрасочного покрытия – по ГОСТ 5981–2011 «Банки и крышки к ним металлические для консервов», были выбраны следующие модельные среды: дистиллированная вода, 3% раствор пищевой соли, 3% раствор уксусной кислоты; раствор, содержащий 2% пищевой соли и 2% уксусной кислоты. Подбор был с учетом состава консервированной продукции.

Оценка состояния лакированной поверхности после испытания проводилась визуально, с применением стереомикроскопа. Исследования проводились в июле – ноябре 2023 г.

### Результаты и обсуждение

Консервы из морской капусты были исследованы на соответствие ГОСТ 30425–97 «Консервы. Метод определения промышленной стерильности». Образцы были оценены на герметичность упаковки, далее подвергались выдержке не менее 5 суток в термостате при 37 °С, затем исследованию на отсутствие требуемого перечня микроорганизмов. Полученные данные отражены в таблице 1.

Таблица 1.  
Результаты исследований консервов из морской капусты

Table 1.  
Results of research on canned seaweed

| Показатель<br>Index                                                                                                                                                                                           | Требуемые значения<br>Required values                                            | Фактические значения<br>Actual values                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Герметичность<br>Airtightness                                                                                                                                                                                 | не нарушена<br>intact                                                            |                                                                       |
| Спорообразующие МАФАнМ групп B. cereus и B. polymyxa<br>Spore-forming MAFANM of the groups B. cereus and B. polymyxa groups                                                                                   | не допускаются в 1 г (см <sup>3</sup> )<br>not allowed in 1 g (cm <sup>3</sup> ) | отсутствие в 1 г (см <sup>3</sup> )<br>none in 1 g (cm <sup>3</sup> ) |
| Спорообразующие МАФАнМ группы B. subtilis<br>Spore-forming MAFANMs of B. subtilis                                                                                                                             | < 11 КОЕ/г)                                                                      |                                                                       |
| Мезофильные клостридии C. botulinum и (или) C. perfringes<br>Mesophilic clostridia of C. botulinum and/or C. perfringes                                                                                       | не допускаются в 1 г (см <sup>3</sup> )<br>not allowed in 1 g (cm <sup>3</sup> ) |                                                                       |
| Мезофильные клостридии, кроме C. botulinum и (или) C. perfringes<br>Mesophilic clostridia other than C. botulinum and/or C. perfringes.                                                                       |                                                                                  |                                                                       |
| Неспорообразующие микроорганизмы, в том числе молочно-кислые грибы, и (или) плесневые грибы, и (или) дрожжи<br>Non-spore-forming microorganisms, including lactic acid fungi and/or mold fungi and/or yeasts) |                                                                                  |                                                                       |
| Спорообразующие термофильные аэробные и анаэробные микроорганизмы<br>Spore-forming thermophilic aerobic and anaerobic microorganisms                                                                          | не допускаются в 1 г (см <sup>3</sup> )                                          | отсутствие в 1 г (см <sup>3</sup> )                                   |

Исследования подтвердили, что «Салат «Дальневосточный» из морской капусты» соответствует требованиям промышленной стерильности консервов.

В таблице 2 указаны результаты исследований визуальных характеристик исследуемых образцов.

В таблице 3 отражены результаты исследования химической стойкости образцов.

Таблица 2.

Внешний вид и состояние поверхностей исследуемых консервных банок

Table 2.

Appearance and condition of surfaces of the examined cans

| Образец<br>Sample                            | Результат<br>Result                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Банки № 5<br>Tin can № 5                     | Наружная поверхность. Лакокрасочное покрытие равномерное, сплошное, без видимых механических повреждений. На боковой поверхности отчетливо выражены подпленочные линии пластической деформации. В верхней части корпуса имеется деформация металла в виде продольных складок. Внутренняя поверхность. Лакокрасочное покрытие равномерное, сплошное, без видимых механических повреждений. В верхней части корпуса имеется деформация металла в виде продольных складок (рисунок 1). Микроскопия: по местам морщин – дефекты покрытия в виде разрывов и отслоений до металла (рисунок 2).<br>Exterior surface. The paint coating is uniform, continuous, without visible mechanical damage. On the side surface there are distinct sub-film lines of plastic deformation. In the upper part of the case there is metal deformation in the form of longitudinal folds. Interior surface. The paint coating is uniform, continuous, without visible mechanical damage. In the upper part of the case there is metal deformation in the form of longitudinal folds (Figure 1). Microscopy: at the places of wrinkles - coating defects in the form of tears and delaminations to the metal (Figure 2).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Банки с продукцией<br>Tin cans with products | Имеются признаки избыточного давления внутри банки (бомбажа) – крышка и дно вздуты, при нажатии не вдавливаются. Признаки разгерметизации (течь, потеки и т. п.) отсутствуют. Наружная поверхность. Лакокрасочное покрытие обладало равномерной и сплошной структурой, не имело видимых механических дефектов. В области под пленкой фиксировалось потемнение, расположенное вдоль линий пластической деформации, однако целостность лакокрасочного слоя сохранялось. Внутренняя поверхность. Лакокрасочное покрытие равномерное, сплошное. Покрытие дна и крышки гладкое, без видимых дефектов. Покрытие на боковой поверхности шероховатое, в верхней части имеются выраженные потемнения и коррозионные поражения. Микроскопия: на боковой поверхности имеются разрывы лакокрасочного покрытия до металла.<br>There are signs of overpressure inside the can (bombage) - the lid and bottom are bloated, when pressed, they are not pressed in. There are no signs of depressurization (leaks, drips, etc.). Exterior surface. The paint coating had a uniform and continuous structure and no visible mechanical defects. In the area under the film there was darkening along the lines of plastic deformation, but the integrity of the paint layer was preserved. Interior surface. The paint coating is uniform, continuous. The coating on the bottom and lid is smooth, without visible defects. The coating on the side surface is rough, there are pronounced darkening and corrosion lesions in the upper part. Microscopy: on the side surface there are tears of the paint coating to the metal. |

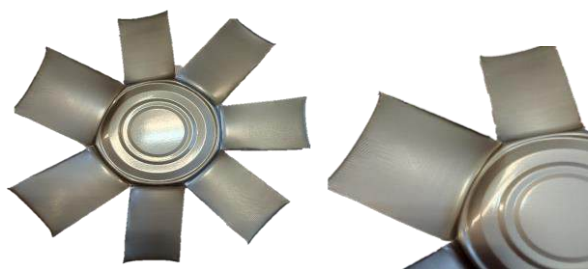


Рисунок 1. Внутренняя поверхность банки № 5

Figure 1. Inner surface of can No.5



Рисунок 2. Разрывы лакокрасочного покрытия в зоне морщин

Figure 2. Paintwork cracks in the wrinkle area



Рисунок 3. Разрушение лакокрасочного покрытия и коррозия после стерилизации в дистиллированной воде

Figure 3. Destruction of paint coating and corrosion after sterilization in distilled water

## Химическая устойчивость образцов

Table 3.

## Chemical resistance of samples

| Модельная среда<br>Substance                                                                                      | Состояние поверхности после испытания<br>Surface condition after the test                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Дистиллированная вода<br>Distilled water                                                                          | Обильные коррозионные поражения с визуальными признаками нарушения целостности лакокрасочного покрытия в зоне складчатой деформации; единичные точечные коррозионные поражения по остальной боковой поверхности Поверхность дна – без визуальных изменений<br>Микроскопия: в зоне складчатой деформации – множественные коррозионные поражения, разрушение лакокрасочного покрытия (рисунок 3).<br>Обильные коррозионные поражения с визуальными признаками нарушения целостности лакокрасочного покрытия в зоне складчатой деформации; единичные точечные коррозионные поражения по остальной боковой поверхности Поверхность дна – без визуальных изменений<br>Микроскопия: в зоне складчатой деформации – множественные коррозионные поражения, разрушение лакокрасочного покрытия (рисунок 3).<br>Abundant corrosion lesions with visual signs of a violation of the integrity of the paintwork in the zone of folded deformation; single point corrosion lesions on the rest of the lateral surface of the bottom surface – without visual changes<br>Microscopy: in the area of folded deformation, there are multiple corrosion lesions, destruction of the paintwork (Figure 3).<br>Abundant corrosion lesions with visual signs of a violation of the integrity of the paintwork in the zone of folded deformation; single point corrosion lesions on the rest of the lateral surface of the bottom surface – without visual changes<br>Microscopy: in the area of folded deformation, there are multiple corrosion lesions, destruction of the paintwork (Figure 3). |
| 3% раствор пищевой соли<br>3% food salt solution                                                                  | Обильные коррозионные поражения с визуальными признаками нарушения целостности лакокрасочного покрытия в зоне складчатой деформации; единичные точечные коррозионные поражения по остальной боковой поверхности Поверхность дна – без визуальных изменений<br>Микроскопия: в зоне складчатой деформации – множественные коррозионные поражения, разрушение лакокрасочного покрытия; по остальной боковой поверхности – признаки подпленочной коррозии по местам точечных поражений (рисунок 4).<br>Abundant corrosion lesions with visual signs of paint coating integrity disruption in the folded deformation zone; single pitting corrosion lesions on the rest of the lateral surface Bottom surface - without visual changes.<br>Microscopy: multiple corrosion lesions in the folded deformation zone, paint coating destruction; on the rest of the lateral surface - signs of sub-film corrosion at the places of pitting lesions (Figure. 4).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 3% раствор уксусной кислоты<br>3% acetic acid solution                                                            | Отслоение лакокрасочного покрытия и коррозия в зоне складчатой деформации; по остальной боковой поверхности – шероховатость лакокрасочного покрытия; поверхность дна – без визуальных изменений (рисунок 5).<br>Микроскопия: в зоне складчатой деформации – разрушение лакокрасочного покрытия, коррозия; в зоне шероховатости – разрывы лакокрасочного покрытия, точечные коррозионные поражения.<br>Paint coating delamination and corrosion in the area of folded deformation; on the rest of the lateral surface - roughness of paint coating; bottom surface - no visual changes (Figure 5).<br>Microscopy: in the zone of folded deformation - destruction of paint coating, corrosion; in the zone of roughness - breaks of paint coating, pitting corrosion lesions.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Раствор, содержащий 2% пищевой соли и 2% уксусной кислоты<br>Solution containing 2% table salt and 2% acetic acid | Нарушение целостности лакокрасочного покрытия, потемнение и следы коррозии в зоне складчатой деформации; по остальной боковой поверхности – шероховатость лакокрасочного покрытия; поверхность дна – без визуальных изменений.<br>Микроскопия: в зоне складчатой деформации – разрушение лакокрасочного покрытия, коррозия; в зоне шероховатости – разрывы лакокрасочного покрытия, подпленочная коррозия (рисунок 6)<br>Violation of integrity of paint coating, darkening and traces of corrosion in the zone of folded deformation; on the rest of the lateral surface - roughness of paint coating; bottom surface - without visual changes.<br>Microscopy: in the zone of folded deformation - destruction of paint coating, corrosion; in the roughness zone - breaks of paint coating, sub-film corrosion (Figure 6).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

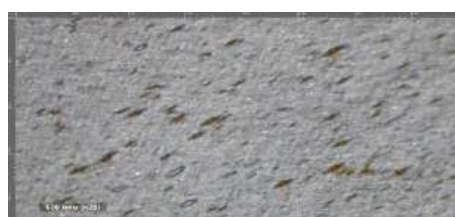


Рисунок 4. Разрушение лакокрасочного покрытия и коррозия после стерилизации в 3% растворе пищевой соли  
Figure 4. Destruction of paint coating and corrosion after sterilization in 3% solution of edible salt



Рисунок 5. Внутренняя поверхность банки № 5 после стерилизации в 3% растворе уксусной кислоты

Figure 5. The inner surface of jar No. 5 after sterilization in a 3% acetic acid solution

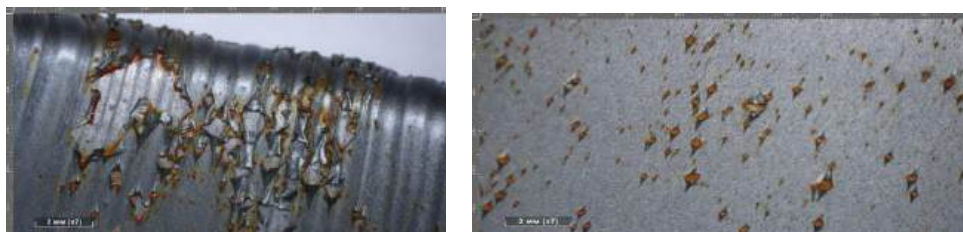


Рисунок 6. Разрушение лакокрасочного покрытия и коррозия после стерилизации в растворе, содержащем 2% пищевой соли и 2% уксуса

Figure 6. Destruction of paintwork and corrosion after sterilization in a solution containing 2% table salt and 2% vinegar

Жестяная тара № 5 не выдержала стерилизацию в модельных средах и не соответствует ГОСТ 5981–2011 «Банки и крышки к ним металлические для консервов. Технические условия».

### Заключение

По результатам проведенных испытаний установлено, что консервы микробиологически стерильны и причиной бомбажа консервированной продукции «Салат «Дальневосточный» из морской капусты» является накопление газообразного водорода, выделяющегося при контакте заливки, содержащей в составе уксусную кислоту, с поверхностью металла вследствие разрушения лакокрасочного покрытия внутренней поверхности.

Разрушение лакокрасочного покрытия также является причиной коррозии внутренней поверхности банок с консервированной продукцией.

Причиной разрушения лакокрасочного покрытия является складчатая деформация металла, приводящая к нарушению адгезии и механическим повреждениям лакокрасочного покрытия. Причиной складчатой деформации является превышение предела текучести жести при штамповке. Возможными причинами достижения предела текучести жести при штамповке являются: нарушение технологии штамповки, использование низкопластичной жести, неоднородность физико-механических свойств жести.

Для предотвращения возможной порчи консервов из-за химического бомбажа необходим тщательный входной контроль жестяной тары на предприятии.

### Литература

- 1 Гаврилова Г.С., Сухин И.Ю. Перспективные объекты марикультуры Приморья // Рыбное хозяйство. 2021. № 1. С. 82–93. doi: 10.37663/0131–6184–2021–1–82–93
- 2 Н.С. Потемкина, В.Н. Крутько, В.И. Донцов, О.А. Роль информационных технологий в реализации концепции оздоровительного геропротекторного питания населения / Мамиконова // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2016. Т. 66. № 2. С. 60–73.
- 3 Rajput H. et al. Technology for Canning //Global Hi-Tech Horticulture. 2022. Т. 6. С. 135-151.
- 4 Иванов, П.П., Сидорова, Е.А. Проблемы и методы предотвращения бомбажа консервов в пищевой промышленности // Технологии пищевой промышленности. 2021. №4. С. 12–18.
- 5 Платонова Т.Ф., Бессараб О.В. Исследование коррозионного взаимодействия ЭЖК с водными растворами органических кислот, содержащими антоциановые пигменты // Пищевая промышленность. 2018. № 12. С. 77–79.
- 6 Vitkova T.G. Medical Review and Analysis of Canned Food Production Safety // Journal of Biomedical and Clinical Research. Sciendo. 2022. V. 15. № 1. P. 5–12. doi: 10.2478/jbcr-2022–0001
- 7 Enikova R.K., Stoyanovska M.R., Karcheva M.D. Mycotoxins in Fruits and Vegetables // Journal of IMAB. 2020. V. 26. № 2. P. 3139–3143. doi: 10.5272/jimab.2020262.3139
- 8 Enikova R. Biological Health of Fruits and Vegetables. Prevention of well-known storage damage. Union of the Processors of Fruit and Vegetables. 2018. P. 132.
- 9 Деревицкая О.К., Дыдыкин А.С. Методологический подход к оценке потребительской упаковки для мясных консервов детского питания // Все о мясе. 2024. № 2. С. 30–33. doi: 10.21323/2071–2499–2024–2–30–33
- 10 Smith J.R., Johnson P.T. Canned Food Technology: Principles and Practices. New York: Springer, 2019. P. 380.

- 11 Anderson L.M., Davis R.K. Causes and Prevention of Swelling in Canned Foods // *Journal of Food Science and Technology*. 2021. V. 58. № 4. P. 512–520.
- 12 Brown C.E., Taylor A.S. Microbial Spoilage of Canned Products: A Comprehensive Review // *Food Microbiology Journal*. 2020. V. 45. P. 88–96.
- 13 Harris G.R. *Advances in Quality Control for Canned Foods*. London: Academic Press. 2020. P. 310.
- 14 Wilson D.P., Edwards K.M. The Role of Packaging Materials in Preventing Canning Defects // *Journal of Packaging Technology*. 2021. V. 12. № 3. P. 145–152.
- 15 Taylor J.P., Carter H.B. Chemical Interactions and Gas Production in Canned Foods // *International Journal of Food Chemistry*. 2019. V. 65. № 2. P. 90–98.
- 16 Roberts P.J., Kelly T.M. Biochemical Factors in Can Swelling: An Industrial Perspective // *Food Engineering Review*. 2020. V. 8. № 1. P. 33–41.
- 17 Morgan A.F., Green S.J. Innovations in Detecting Canning Defects // *Journal of Food Safety and Quality Assurance*. 2021. V. 10. № 4. P. 227–234.
- 18 Bennett L.J., Walker P.T. *Prevention of Botulism and Gas Formation in Canned Foods*. Oxford: Food and Nutrition Press, 2020. P. 290.
- 19 Шагров Д.И. Микробиологические аспекты бомбажа консервов // *Журнал микробиологии и биотехнологии*. 2020. Т. 35. № 6. С. 45–52.
- 20 Белов К.В., Андреева М.Л. Химические процессы в консервах при нарушении технологии производства // *Научные исследования в пищевой отрасли*. 2022. Т. 9. № 2. С. 67–75.

### References

- 1 Gavrilova G.S., Sukhin I.Yu. Promising mariculture objects of Primorye // *Fisheries*. 2021. no. 1. pp. 82–93. doi: 10.37663/0131–6184–2021–1–82–93 (in Russian).
- 2 Potemkina N.S., Krutko V.N., Dontsov V.I., Mamikonova O.A. The role of information technology in implementing the concept of healthy geroprotective nutrition for the population // *Proceedings of the Institute of Systems Analysis of the Russian Academy of Sciences*. 2016. vol. 66. no. 2. pp. 60–73. (in Russian).
- 3 Rajput H. et al. Technology for Canning // *Global Hi-Tech Horticulture*. 2022. Vol. 6. pp. 135-151.
- 4 Ivanov P.P., Sidorova E.A. Problems and methods for preventing swelling in canned products in the food industry // *Food Industry Technologies*. 2021. no. 4. pp. 12–18. (in Russian).
- 5 Platonova T.F., Bessarab O.V. Study of corrosion interaction of fatty acids with aqueous solutions of organic acids containing anthocyanin pigments // *Food Industry*. 2018. no. 12. pp. 77–79. (in Russian).
- 6 Vitkova T.G. Medical review and analysis of canned food production safety // *Journal of Biomedical and Clinical Research*. Sciendo. 2022. Vol. 15. no. 1. pp. 5–12. doi: 10.2478/jbcr-2022–0001
- 7 Enikova R.K., Stoynovska M.R., Karcheva M.D. Mycotoxins in fruits and vegetables // *J of IMAB*. 2020. Vol. 26. no. 2. pp. 3139–3143. doi: 10.5272/jimab.2020262.3139
- 8 Enikova R. Biological health of fruits and vegetables. Prevention of well-known storage damage. Union of the Processors of Fruit and Vegetables. 2018. pp.132.
- 9 Derevitskaya O.K., Dydykin A.S. Methodological approach to evaluating consumer packaging for canned meat products for children // *All About Meat*. 2024. no. 2. pp. 30–33. doi: 10.21323/2071–2499–2024–2–30–33 (in Russian).
- 10 Smith J.R., Johnson P.T. *Canned Food Technology: Principles and Practices*. New York: Springer, 2019. pp.380.
- 11 Anderson L.M., Davis R.K. Causes and prevention of swelling in canned foods // *Journal of Food Science and Technology*. 2021. Vol. 58. no. 4. pp. 512–520.
- 12 Brown C.E., Taylor A.S. Microbial spoilage of canned products: a comprehensive review // *Food Microbiology Journal*. 2020. Vol. 45. pp. 88–96.
- 13 Harris G.R. *Advances in quality control for canned foods*. London: Academic Press. 2020. pp. 310.
- 14 Wilson D.P., Edwards K.M. The role of packaging materials in preventing canning defects // *Journal of Packaging Technology*. 2021. Vol. 12. no. 3. pp. 145–152.
- 15 Taylor J.P., Carter H.B. Chemical interactions and gas production in canned foods // *International Journal of Food Chemistry*. 2019. Vol. 65. no. 2. pp. 90–98.
- 16 Roberts P.J., Kelly T.M. Biochemical factors in can swelling: an industrial perspective // *Food Engineering Review*. 2020. Vol. 8. no. 1. pp. 33–41.
- 17 Morgan A.F., Green S.J. Innovations in detecting canning defects // *Journal of Food Safety and Quality Assurance*. 2021. Vol. 10. no. 4. pp. 227–234.
- 18 Bennett L.J., Walker P.T. *Prevention of botulism and gas formation in canned foods*. Oxford: Food and Nutrition Press, 2020. pp. 290.
- 19 Shatrov D.I. Microbiological aspects of swelling in canned products // *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2020. vol. 35. no. 6. pp. 45–52. (in Russian).
- 20 Belov K.V., Andreeva M.L. Chemical processes in canned products under production technology violations. *Scientific Research in the Food Industry*. 2022. vol. 9. no. 2. pp. 67–75. (in Russian).

#### Сведения об авторах

**Мария В. Леонова** магистрант 1 курса, кафедра биологии и биотехнологии, институт Новых технологий и искусственного интеллекта, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, 392036, Россия, marialeonova395@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1377-5070>

**Юлия В. Зеленева** д.б.н., доцент, кафедра биологии и биотехнологии, институт Новых технологий и искусственного интеллекта, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, 392036, Россия, zelenewa@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9716-288X>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Maria V. Leonova** 1st year master's student, Department of Biology and Biotechnology, Institute of New Technologies and Artificial Intelligence, Derzhavin Tambov State University, Internatsionalnaya St., 33, Tambov, 392036, Russia, marialeonova395@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1377-5070>

**Yulia V. Zeleneva** Dr of Biological Sci., associate professor, Department of Biology and Biotechnology, Institute of New Technologies and Artificial Intelligence), Derzhavin Tambov State University, Internatsionalnaya St., 33, Tambov, 392036, Russia, zelenewa@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9716-288X>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                             |                                       |                                    |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Поступила</b> 21/10/2024 | <b>После редакции</b> 11/11/2024      | <b>Принята в печать</b> 25/11/2024 |
| <b>Received</b> 21/10/2024  | <b>Accepted in revised</b> 11/11/2024 | <b>Accepted</b> 25/11/2024         |

## Технология и оценка качества желированных десертов для веганов

|                     |              |                                                                    |                                                                                                         |
|---------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Нина И. Мячикова    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:myachikova@bsu.edu.ru">myachikova@bsu.edu.ru</a>   |  0000-0001-7997-0605 |
| Юрий А. Болтенко    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:boltenko@bsu.edu.ru">boltenko@bsu.edu.ru</a>       |  0000-0003-2183-2263 |
| Яна В. Чуркина      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:churkina_ya@bsu.edu.ru">churkina_ya@bsu.edu.ru</a> |  0000-0000-0000-0000 |
| Лариса Н. Фролова   | <sup>2</sup> | <a href="mailto:fln-84@mail.ru">fln-84@mail.ru</a>                 |  0000-0002-6505-4136 |
| Марина В. Чернова   | <sup>3</sup> | <a href="mailto:chernovam81@mail.ru">chernovam81@mail.ru</a>       |  0000-0000-0000-0000 |
| Анна А. Дерканосова | <sup>4</sup> | <a href="mailto:aa-derk@yandex.ru">aa-derk@yandex.ru</a>           |  0000-0002-9726-9262 |

1 Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия

2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

3 Белгородская областная клиническая больница Святителя Иосафа, ул. Некрасова, 8/9, г. Белгород, 308007, Россия

**Аннотация.** В последние годы все более широкую популярность приобретает вегетарианство в различных формах, в том числе веганство, которое исключает из рациона все продукты животного происхождения и их побочные продукты. В связи с этим начинает набирать популярность продукция для вегетарианцев и веганов, в частности десерты. При проведении исследований в качестве контрольного образца выбран крем ванильный из сметаны. На основе аналитических и экспериментальных исследований разработаны рецептуры и технологии желированных десертов для веганов: крем веганский «Тропический» и крем веганский «Бананово-кофейный». В разработанных рецептурах молоко заменили на напиток соевый с кокосом «Hi», желатин – на смесь каппа-каррагинана и йота-каррагинана. Для придания вязкости и формирования вкуса использовали банан. При использовании в качестве структурообразователя смеси каппа-каррагинана и йота-каррагинана в соотношении 1: 2 готовые продукты имеют нежную консистенцию. Это подтверждают результаты исследований органолептических и структурно-механических показателей. Замена продуктов животного происхождения на продукты растительного происхождения позволяет получить продукт, который можно рекомендовать не только для веганов, но и для тех, кто ограничивает употребление высококалорийных десертов. Калорийность разработанных образцов кремов ниже в 3,3 раза по сравнению с контрольным образцом, и составляет 75 ккал/100 г для крема веганского «Тропического» и 77 ккал/100 г для крема веганского «Бананово-кофейного». В целом, замена продуктов животного происхождения на продукты растительного происхождения незначительно влияет на изменение характеристик разработанных десертов. Желированные десерты для веганов по органолептическим, физико-химическим и реологическим характеристикам находятся на уровне взятого в качестве контрольного образца крема ванильного из сметаны.

**Ключевые слова:** желированный десерт, технология производства, показатели качества, веган, каррагинан.

## Technology and quality assessment of gelled desserts for vegans

|                     |              |                                                                    |                                                                                                           |
|---------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nina I. Myachikova  | <sup>1</sup> | <a href="mailto:myachikova@bsu.edu.ru">myachikova@bsu.edu.ru</a>   |  0000-0001-7997-0605 |
| Yurij A. Boltenko   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:boltenko@bsu.edu.ru">boltenko@bsu.edu.ru</a>       |  0000-0003-2183-2263 |
| Yana V. Churkina    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:churkina_ya@bsu.edu.ru">churkina_ya@bsu.edu.ru</a> |  0000-0000-0000-0000 |
| Larisa N. Frolova   | <sup>2</sup> | <a href="mailto:fln-84@mail.ru">fln-84@mail.ru</a>                 |  0000-0002-6505-4136 |
| Marina V. Chernova  | <sup>3</sup> | <a href="mailto:chernovam81@mail.ru">chernovam81@mail.ru</a>       |  0000-0000-0000-0000 |
| Anna A. Derkanosova | <sup>4</sup> | <a href="mailto:aa-derk@yandex.ru">aa-derk@yandex.ru</a>           |  0000-0002-9726-9262 |

1 Belgorod State National Research University, Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia

2 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia

3 Belgorod Regional Clinical Hospital of St. Joasaph, Nekrasova Str., 8/9, Belgorod, 308007, Russia

**Abstract.** In recent years, various forms of vegetarianism have become increasingly popular, including veganism, which excludes all animal products and their by-products from the diet. In this regard, products for vegetarians and vegans, in particular desserts, begin to gain popularity. During the research, vanilla cream made from sour cream was chosen as a control sample. Based on analytical and experimental studies, recipes and technologies for jelly desserts for vegans were developed: vegan cream "Tropical" and vegan cream "Banana-coffee". In the developed recipes, milk was replaced with a soy drink with coconut "Hi", gelatin - with a mixture of kappa-carrageenan and iota-carrageenan. Banana was used to impart viscosity and form a taste. When using a mixture of kappa-carrageenan and iota-carrageenan in a ratio of 1:2 as a structure-forming agent, the finished products have a delicate consistency. This is confirmed by the results of studies of organoleptic and rheological indicators. Replacing animal products with plant products allows you to get a product that can be recommended not only for vegans, but also for those who limit the consumption of high-calorie desserts. The caloric content of the developed cream samples is 3.3 times lower than the control sample, and is 75 kcal / 100 g for the vegan cream "Tropical" and 77 kcal / 100 g for the vegan cream "Banana-coffee". In general, the replacement of animal products with plant products has almost no effect on the change in the characteristics of the developed desserts. Jelly desserts for vegans, in terms of organoleptic, physicochemical and structural-mechanical characteristics, are at the level of the vanilla cream made from sour cream taken as a control sample.

**Keywords:** jelly dessert, production technology, quality indicators, vegan, carrageenan.

## Для цитирования

Мячикова Н.И., Болтенко Ю.А., Чуркина Я.В., Фролова Л.Н., Чернова М.В. Технология и оценка качества желированных десертов для веганов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 22–31. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-22-31

## For citation

Myachikova N.I., Boltenko Yu.A., Churkina Ya.V., Frolova L.N., Chernova M.V. Technology and quality assessment of gelled desserts for vegans. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 22–31. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-22-31

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

«В настоящее время на мировом рынке растет спрос на продукты питания, которые улучшают здоровье и поддерживают иммунную систему, персонализированные и функциональные продукты, растительные белковые продукты в качестве альтернативы животным белкам; натуральные ингредиенты и пищевые добавки; детское питание» [1].

Вместе с тем в последние годы все более широкую популярность приобретает вегетарианство в различных формах. Наряду с такими направлениями, как лактовегетарианство (не употребляют мясо, рыбу или яйца, но употребляют молочные продукты), ововегетарианство (не употребляют мясо, рыбу или молочные продукты, но употребляют яйца), лактоовоовегетарианство (не употребляют мясо, но употребляют яйца и молочные продукты), пескетарианство (не едят мяса, но едят рыбу и моллюсков), все большее распространение получает веганская диета, которая исключает из рациона все продукты животного происхождения и их побочные продукты [2,3].

«Уже сегодня заметно постепенное смещение спроса от традиционных продуктов питания к пищевым продуктам на растительной основе, не содержащим жиров и белков растительного происхождения, но по своим органолептическим свойствам в той или иной мере соответствующим традиционным мясным и молочным продуктам» [4].

Спрос рождает предложение. В России начинает набирать популярность продукция для вегетарианцев и веганов, в том числе десерты [5–7]. Возможно, это объясняется тем, что в их состав входит широкий ассортимент альтернативных ингредиентов, таких как растительные масла, мед, орехи и фрукты, которые не только вкусны, но и полезны для организма. Эти десерты могут быть безглютеновыми и не содержать рафинированных сахаров, что также делает их привлекательными для людей, следящих за своим здоровьем и питанием. Таким образом, веганские десерты представляют собой привлекательную альтернативу для тех, кто хочет наслаждаться сладостями, не нарушая свои диетические предпочтения или принципы [8]. И с каждым годом все больше людей обращают внимание на веганскую продукцию, что способствует дальнейшему росту этого сектора. Однако, помимо преимуществ, вегетарианские и веганские десерты также могут представлять вызов для разработчиков. Это связано с тем, что необходимо найти баланс между вкусом и текстурой,

чтобы удовлетворить требования вегетарианцев и веганов. Это требует разработки новых рецептов и технологий, а также постоянного совершенствования процесса производства [9-10].

**Цель работы** – разработка рецептуры, а также исследование показателей качества желированного десерта для веганов.

## Материалы и методы

При проведении исследований в качестве контрольного образца выбран «Крем ванильный из сметаны» [11]. На основе аналитических и экспериментальных исследований были разработаны веганские аналоги с заменой продуктов так, чтобы они соответствовали понятию «веганский» и удовлетворяли потребности в пищевых веществах, насколько это возможно, а также по качественным характеристикам приближающиеся к контрольному образцу.

В процессе выполнения работы использовано сырье, соответствующее требованиям нормативной документации.

Исследованиям подвергали крем ванильный из сметаны, приготовленный по традиционной рецептуре, и желированные десерты для веганского питания (таблица 1).

Органолептические показатели исследовали в соответствии с ГОСТ 31986–2012 [12] по пятибалльной шкале. Балльный метод представляет собой «оценивание продукта (или его характеристик) путем присвоения баллов, имеющих некоторую математическую связь с оцениваемым продуктом или его характеристиками» [13]. Для получения более точных результатов применяли коэффициенты весо-мости показателей качества, показывающие весо-мость каждого показателя и его вклад в общую оценку.

В зависимости от органолептического показателя были установлены следующие коэффициенты весо-мости:

- для внешнего вида –  $k = 0,1$ ;
- цвета –  $k = 0,1$ ;
- для текстуры –  $k = 0,3$ ;
- для запаха –  $k = 0,2$ ;
- для вкуса и послевкусия –  $k = 0,3$ .

Если несоответствий по органолептическому показателю не выявлено ( $B = 5$ ), коэффициент весо-мости умножали на 5. В случае установления несоответствия коэффициент весо-мости умножали на наименьший (худший) балл ( $B_{\min}$ ), если несоответствий несколько.

Таблица 1.

Рецептура контрольного образца и рецептуры желированного десерта для веганского питания

Table 1.

Control sample recipe and recipe for jelly dessert for vegan nutrition

| Сырье<br>Raw material                                           | Образцы   Samples                                                                            |                       |                               |                       |                                                                         |                       |                                                              |                       |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                                 | на желатине<br>with gelatin                                                                  |                       | на агаре<br>with agar         |                       | на каррагинане<br>with carrageenan                                      |                       |                                                              |                       |
|                                                                 | крем ванильный<br>из сметаны (контроль)  <br>vanilla cream made<br>from sour cream (control) |                       | крем веганский<br>vegan cream |                       | крем веганский<br>«Бананово-кофейный» vegan<br>cream<br>«Banana-coffee» |                       | крем веганский<br>«Тропический»<br>vegan cream<br>«Tropical» |                       |
|                                                                 | брутто  <br>gross weight                                                                     | нетто  <br>net weight | брутто  <br>gross weight      | нетто  <br>net weight | брутто  <br>gross weight                                                | нетто  <br>net weight | брутто  <br>gross weight                                     | нетто  <br>net weight |
| Сметана<br>(36%-ной жирности)   Sour<br>cream (36% fat)         | 400                                                                                          | 400                   | -                             | -                     | -                                                                       | -                     | -                                                            | -                     |
| Молоко   Milk                                                   | 300                                                                                          | 300                   | -                             | -                     | -                                                                       | -                     | -                                                            | -                     |
| Яйца   Eggs                                                     | 2 шт.                                                                                        | 80                    | -                             | -                     | -                                                                       | -                     | -                                                            | -                     |
| Желатин   Gelatin                                               | 20                                                                                           | 20                    | -                             | -                     | -                                                                       | -                     | -                                                            | -                     |
| Ванилин   Vanillin                                              | 0,15                                                                                         | 0,15                  | -                             | -                     | -                                                                       | -                     | -                                                            | -                     |
| Вода (для желатина)  <br>Water (for gelatin)                    | 160                                                                                          | 160                   | -                             | -                     | -                                                                       | -                     | -                                                            | -                     |
| Напиток соевый<br>с кокосом «Hi»<br>Soy drink with coconut «Hi» | -                                                                                            | -                     | 800                           | 800                   | 800                                                                     | 800                   | 770                                                          | 770                   |
| Сахар   Sugar                                                   | -                                                                                            | -                     | 80                            | 80                    | 80                                                                      | 80                    | 77                                                           | 77                    |
| Банан   Banana                                                  | -                                                                                            | -                     | 333                           | 200                   | 333                                                                     | 200                   | 333                                                          | 200                   |
| Каппа-каррагинан  <br>Карра-carrageenan                         | -                                                                                            | -                     | -                             | -                     | 1,8                                                                     | 1,8                   | 1,8                                                          | 1,8                   |
| Йота-каррагинан  <br>Iota-Carrageenan                           | -                                                                                            | -                     | -                             | -                     | 3,6                                                                     | 3,6                   | 3,6                                                          | 3,6                   |
| Агар   Agar                                                     | -                                                                                            | -                     | 7,5                           | 7,5                   | -                                                                       | -                     | -                                                            | -                     |
| Кофе растворимый  <br>Instant coffee                            | -                                                                                            | -                     | -                             | -                     | 2,0                                                                     | 2,0                   | -                                                            | -                     |
| Выход   Total                                                   |                                                                                              | 1000                  |                               | 1000                  |                                                                         | 1000                  |                                                              | 1000                  |

Оценку уровня качества с учетом коэффициента весомости каждого органолептического показателя в баллах вычисляли по формуле:

$$Q_{\text{кач.}} = k \times B_{\text{min}},$$

где  $k$  – коэффициент весомости каждого органолептического показателя;  $B_{\text{min}}$  – оценка каждого показателя, баллы.

Плотность определяли по формуле:

$$\rho = m/V,$$

где  $m$  – масса навески, г;  $V$  – объем бюксы, см<sup>3</sup>.

При определении пищевой ценности желированного сладкого блюда типа крема для веганского питания использовали расчетный метод. В основу метода положено использование справочных данных, определенных ФГБУ «Научно-исследовательский институт питания» РАМН [14]:

химический состав пищевых продуктов; потери пищевых веществ при технологической обработке.

Исследование реологических характеристик производили с использованием анализатора текстуры «Структурометр СТ-2».

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ показал, что 2/3 основного сырья, входящего в рецептуру взятого в качестве контрольного образца крема ванильного из сметаны, не может быть использовано в питании веганов. Следовательно, необходимо предусмотреть его замену на альтернативное сырье, учитывая при этом его функциональную роль в технологическом процессе. Для установления функциональной роли отдельных рецептурных компонентов (таблица 2) был проведен экспертный анализ рецептов желированных десертов типа крема.

Таблица 2.

Роль основных рецептурных компонентов в технологическом процессе

Table 2.

## The role of the main recipe components in the technological process

| Сырье<br>Raw material                              | Роль в технологическом процессе   Role in the technological process                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сметана 36%-ной жирности  <br>Sour cream (36% fat) | Определяет пенообразование рецептурной смеси при взбивании, формирует пенный каркас готового блюда   It determines the foaming of the recipe mixture when whipped and forms the foam frame of the finished dish                                                                                                                                                                                    |
| Сахар   Sugar                                      | Вызывает дегидратацию белковой составляющей рецептурной смеси, способствует уменьшению пенообразующей способности сметаны, повышает стойкость пены, повышает вязкость рецептурной смеси   It causes dehydration of the protein component of the recipe mixture, helps reduce the foaming ability of sour cream, increases the stability of the foam, increases the viscosity of the recipe mixture |
| Молоко   Milk                                      | Используется для растворения сахара; в составе яично-молочной смеси как жидкость для дополнительной гидратации белков яиц   It is used to dissolve sugar, and also as part of the egg-milk mixture as a liquid for additional hydration of egg whites.                                                                                                                                             |
| Яйца   Eggs                                        | Загущает рецептурную смесь вследствие частичной денатурации белков на этапе пастеризации, как следствие – повышение стойкости пены   Thickens the recipe mixture due to partial denaturation of proteins at the pasteurization stage, as a result – increasing the stability of the foam                                                                                                           |
| Желатин   Gelatin                                  | Загущает рецептурную смесь, определяет гелеобразование взбитой рецептурной смеси с фиксацией пенного каркаса   Thickens the recipe mixture, determines the gelation of the whipped recipe mixture with fixation of the foam frame                                                                                                                                                                  |
| Вода (для желатина)<br>Water (for gelatin)         | Используется как среда для набухания и растворения желатина   It is used as a environment for swelling and dissolving gelatin                                                                                                                                                                                                                                                                      |

С учетом требований веганского питания и роли отдельных рецептурных компонентов в технологическом процессе были разработаны рецептуры желированного десерта для веганов, в котором продукты животного происхождения, входящие в состав контрольного образца, были заменены на альтернативные компоненты. В разработанных рецептурах молоко заменили на напиток соевый с кокосом «Ні», желатин – на смесь каппа-каррагинана и йота-каррагинана [15-17]. Для придания вязкости и формирования вкуса использовали банан.

Для большинства потребителей, в первую очередь, важны органолептические показатели. С учетом этого, на первом этапе была проведена оценка органолептических показателей, характеристика которых представлена в таблице 3, а результаты оценки балльным методом с учетом коэффициентов весомости – в таблице 4. Введение коэффициентов весомости направлено на повышение объективности органолептического анализа. При этом наиболее значимыми являются показатели цвета (20%), вкуса (30%) и консистенции (30%)[18-19].

Таблица 3.

Органолептические показатели образцов кремов в сравнении с контрольным образцом

Table 3.

## Organoleptic characteristics of cream samples in comparison with the control sample

| Органолептические показатели  <br>Organoleptic characteristics | Образец   Sample                                                                                                                |                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                | на желатине   with gelatin                                                                                                      | на агаре   with agar                                                                                                                   | на каррагинане   with carrageenan                                                                                                                                   |                                                                                                                                 |
|                                                                | крем ванильный из сметаны (контроль)  <br>vanilla cream made from sour cream (control)                                          | крем веганский  <br>vegan cream                                                                                                        | крем веганский «Бананово-кофейный»  <br>vegan cream «Banana-coffee»                                                                                                 | крем веганский «Тропический»  <br>vegan cream «Tropical»                                                                        |
| Внешний вид  <br>Appearance                                    | Желеобразная масса с блестящей поверхностью, хорошо держит форму /  <br>A jelly mass with a shiny surface, holds its shape well | В меру плотная масса с матовой поверхностью, хорошо держит форму /  <br>Slightly dense mass with a matte surface, holds its shape well | В меру плотная масса, с застывшими пузырьками на поверхности, хорошо держит форму /   Slightly dense mass, with frozen bubbles on the surface, holds its shape well | Желеобразная масса с блестящей поверхностью, хорошо держит форму /  <br>A jelly mass with a shiny surface, holds its shape well |
| Цвет   Color                                                   | Кремовый   Cream                                                                                                                | С сероватым оттенком  <br>With a gray tint                                                                                             | Светло-коричневый  <br>Light brown                                                                                                                                  | Кремовый   Cream                                                                                                                |
| Вкус   Taste                                                   | В меру сладкий, со сливочно-ванильным послевкусием  <br>Slightly sweet with a creamy vanilla aftertaste                         | В меру сладкий  <br>Slightly sweet                                                                                                     | В меру сладкий, с послевкусием кокоса, банана и кофе /   Slightly sweet, with an aftertaste of coconut, banana and coffee                                           | В меру сладкий, с послевкусием кокоса и банана   Slightly sweet, with a coconut and banana aftertaste                           |
| Аромат   Aroma                                                 | Средней интенсивности, с нотами ванили  <br>Medium intensity, with notes of vanilla                                             | Средней интенсивности, с нотами кокоса   Medium intensity, with coconut notes                                                          | Средней интенсивности, с нотами кокоса, банана и кофе   Medium intensity, with notes of coconut, banana and coffee                                                  | Средней интенсивности, с нотами кокоса и банана   Medium intensity, with notes of coconut and banana                            |
| Консистенция<br>Consistency                                    | Средней плотности, нежная, однородная, упругая   Medium density, delicate, homogeneous, elastic                                 | Плотная, однородная, слегка слоистая, хлопьевидная, упругая   Dense, homogeneous, slightly layered, flaky, elastic                     | Средней плотности, нежная, слегка зернистая, упругая   Medium density, delicate, slightly grainy, elastic                                                           | Мягкая, нежная, однородная, упругая   Soft, delicate, homogeneous, elastic                                                      |

Таблица 4.

Влияние структурообразователя на органолептическую оценку образцов

Table 4.

The influence of structure-forming agents on the organoleptic evaluation of samples

| Показатель<br>Indicator      | Коэффициент<br>весомости<br>Weight<br>coefficient | Образец   Sample                                                                                |                   |                                 |                   |                                                                           |                   |                                                                |                   |
|------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------|
|                              |                                                   | на желатине<br>with gelatin                                                                     |                   | на агаре<br>with agar           |                   | на каррагинане<br>with carrageenan                                        |                   |                                                                |                   |
|                              |                                                   | крем ванильный из<br>сметаны (контроль)<br>  vanilla cream made<br>from sour cream<br>(control) |                   | крем веганский<br>  vegan cream |                   | крем веганский<br>«Бананово-кофейный» /<br>vegan cream<br>«Banana-coffee» |                   | крем веганский<br>«Тропический»  <br>vegan cream<br>«Tropical» |                   |
|                              |                                                   | Б <sub>min</sub>                                                                                | Q <sub>кач.</sub> | Б <sub>min</sub>                | Q <sub>кач.</sub> | Б <sub>min</sub>                                                          | Q <sub>кач.</sub> | Б <sub>min</sub>                                               | Q <sub>кач.</sub> |
| Внешний вид   Appearance     | 0,1                                               | 5                                                                                               | 0,5               | 4                               | 0,4               | 5                                                                         | 0,5               | 5                                                              | 0,5               |
| Цвет   Color                 | 0,2                                               | 5                                                                                               | 1,0               | 3                               | 0,6               | 5                                                                         | 1,0               | 5                                                              | 1,0               |
| Вкус   Taste                 | 0,3                                               | 5                                                                                               | 1,5               | 4                               | 1,2               | 5                                                                         | 1,5               | 5                                                              | 1,5               |
| Аромат   Aroma               | 0,1                                               | 5                                                                                               | 0,5               | 5                               | 0,5               | 5                                                                         | 0,5               | 5                                                              | 0,5               |
| Консистенция   Consistency   | 0,3                                               | 5                                                                                               | 1,5               | 2                               | 0,6               | 5                                                                         | 1,5               | 5                                                              | 1,5               |
| Средний балл   Average score |                                                   |                                                                                                 | 5,0               |                                 | 3,3               |                                                                           | 5,0               |                                                                | 5,0               |

Таким образом, результаты органолептической оценки позволили установить, что наиболее нежной консистенцией обладают кремы, в которых в качестве структурообразователя используются каррагинаны[20]. Эти образцы кремов были использованы для дальнейших исследований.

Технологические схемы разработанной продукции представлены на рисунке 1–2.

Внешний вид разработанной продукции представлен на рисунке 3.

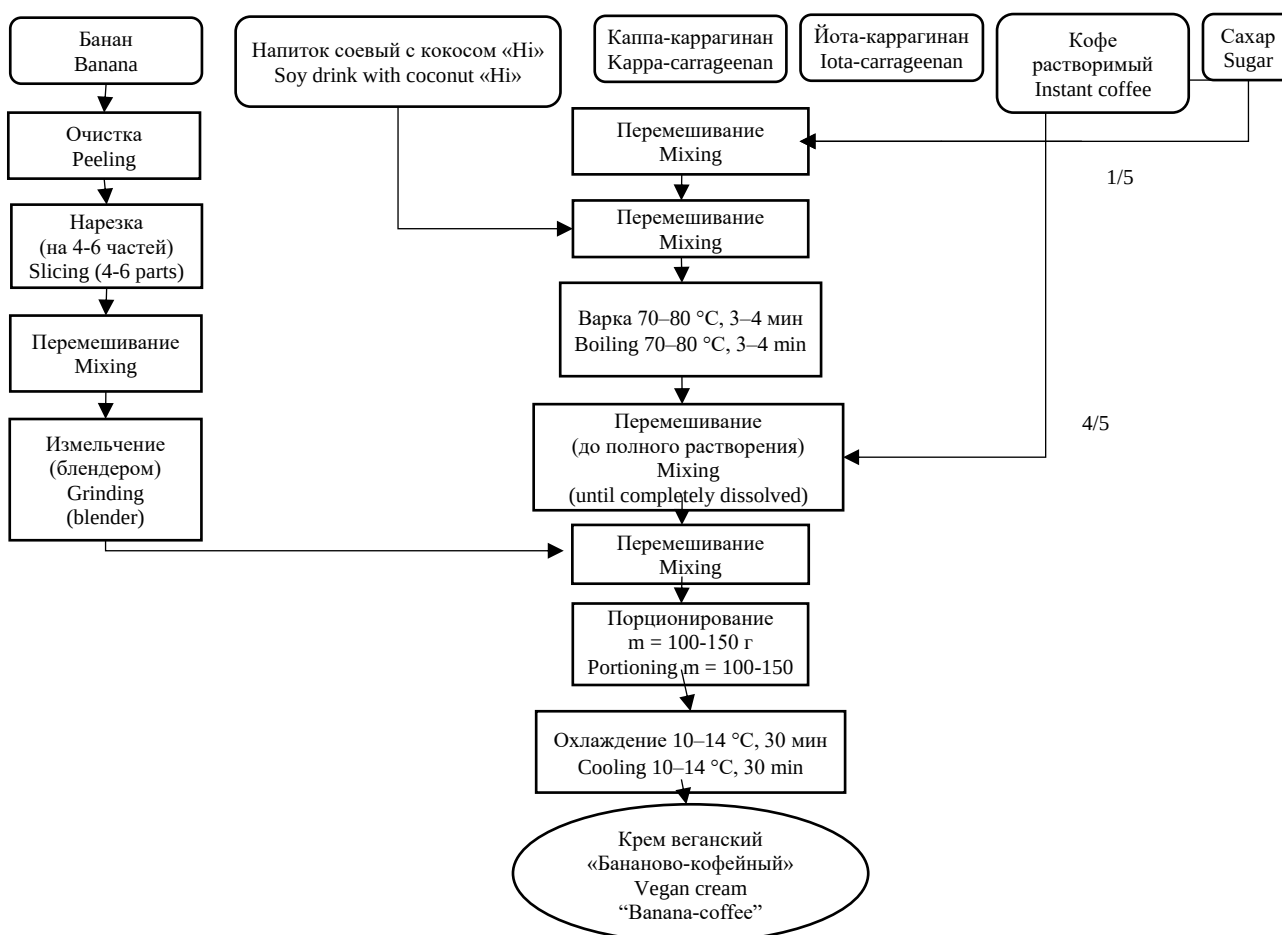


Рисунок 1. Технологическая схема приготовления крема веганского «Бананово-кофейный»

Figure 1. Technological scheme of preparation vegan cream «Banana-coffee»

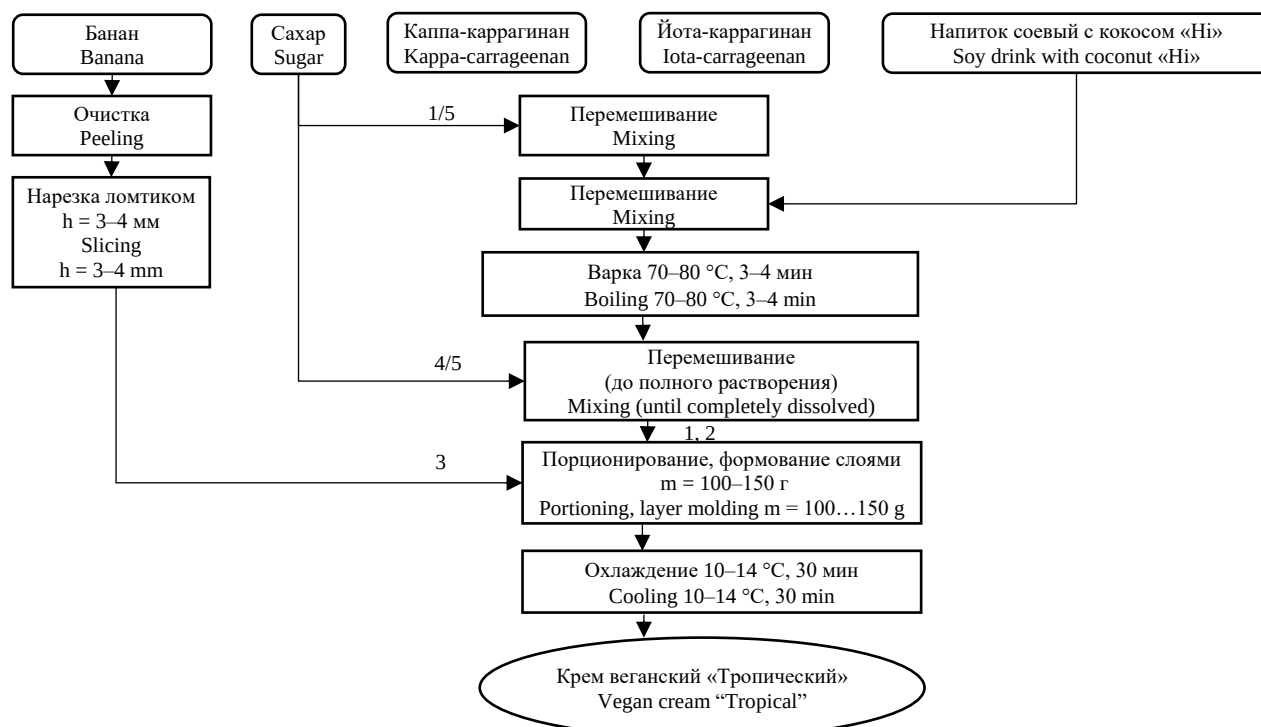


Рисунок 2. Технологическая схема приготовления крема веганского «Тропический»  
Figure 2. Technological scheme of preparation vegan cream «Tropical»



Рисунок 3. Внешний вид экспериментальных образцов: 1 – крем ванильный из сметаны, 2 – крем веганский «Бананово-кофейный», 3 – крем веганский «Тропический»  
Figure 3. Appearance of experimental samples: 1 – vanilla cream made from sour cream, 2 – vegan cream “Banana-coffee”, 3 – vegan cream “Tropical”

Сводная информация по содержанию пищевых веществ в контрольном и экспериментальных образцах кремов представлена на рисунке 4.

Разработанные кремы веганские незначительно отличаются по содержанию основных пищевых веществ и энергетической ценности между собой, но значительно от контрольного образца. Так, содержание белков в разработанных образцах меньше в 1,9 раза, чем в контрольном образце, содержание углеводов – меньше в 1,6 раз и содержание жиров меньше почти в 11 раз. Значительная разница в содержании пищевых веществ обуславливает более низкую калорийность разработанных образцов кремов, которая ниже в 3,3 раза по сравнению с контрольным образцом, и составляет 75 ккал / 100 г. для крема веганского «Тропического» и 77 ккал / 100 г. для крема веганского «Бананово-кофейного».

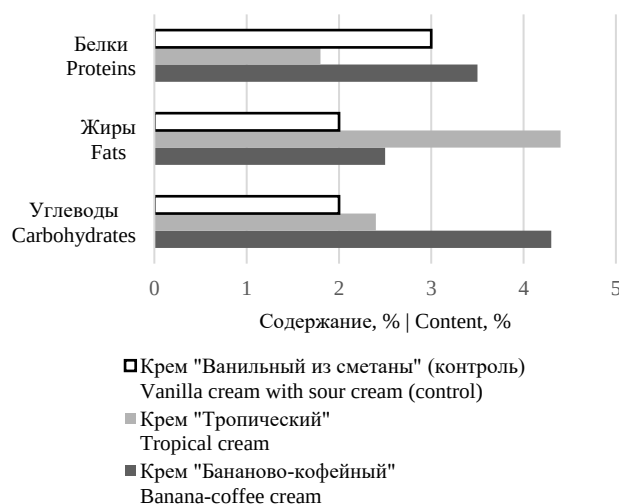


Рисунок 4. Содержание пищевых веществ в образцах кремов  
Figure 4. Nutrient content of cream samples

Такая разница в показателях пищевой и энергетической ценности обусловлена особенностями химического состава используемого сырья, которое относится к сырью растительного происхождения. Из физико-химических показателей была определена плотность исследуемых образцов (рисунок 5).

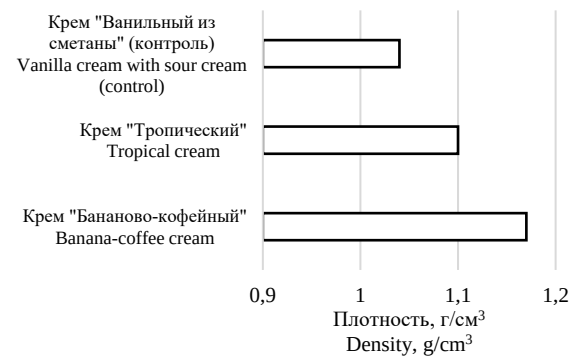


Рисунок 5. Плотность крема веганского в сравнении с контрольным образцом  
Figure 5. Density of vegan cream compared to control sample

Сравнительный анализ показывает, что наименьшая плотность (на 11,0% меньше контрольного образца) характерна для крема веганского «Бананово-кофейный». В состав данного входят измельченные и взбитые бананы, которые обеспечивают крему более пористую структуру. Крем веганский «Тропический» имеет более плотную структуру (на 5,5% больше) по сравнению с кремом веганским «Бананово-кофейный», но менее плотную (на 6,0% меньше) по сравнению с контрольным образцом.

На основании исследования структурно-механических характеристик образцов крема построена диаграмма нагружения (рисунок 6). По результатам анализа установлены деформационные характеристики исследуемых образцов, анализ которых представлен в таблице 5.

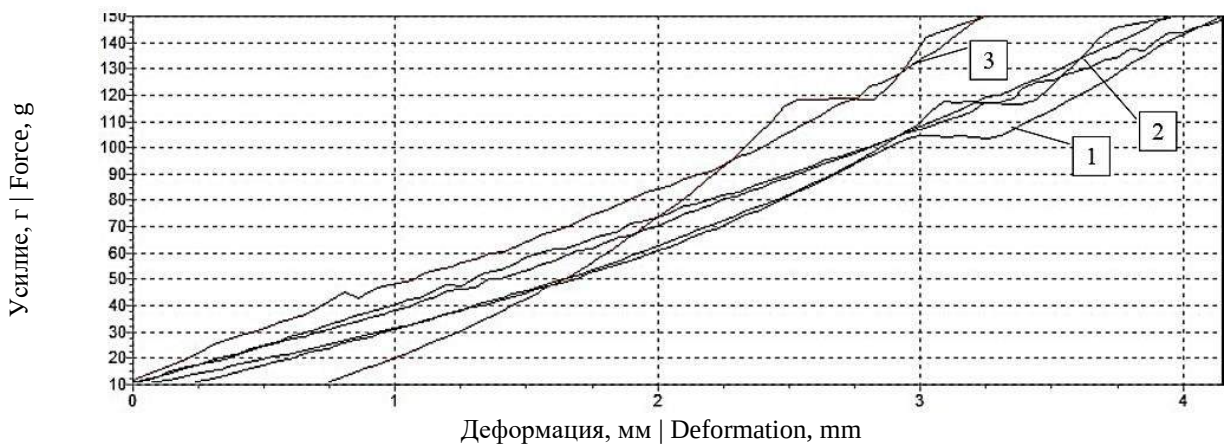


Рисунок 6. Изменение усилия нагружения образцов крема в зависимости от величины деформации: 1 – крем ванильный из сметаны (контрольный образец); 2 – крем веганский «Тропический»; 3 – крем веганский «Бананово-кофейный»  
Figure 6. Change in loading force of cream samples depending on the magnitude of deformation: 1 – vanilla cream made from sour cream (control sample); 2 – vegan cream «Tropical»; 3 – vegan cream «Banana-coffee»

Таблица 5.  
Изменение деформации образцов крема в зависимости от структурообразователя  
Table 5.  
Change in deformation of cream samples depending on the structure-forming agent

| Показатель<br>Indicator                                            | Образец   Sample                                                                     |  |        |                                                           |        |                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|--------|-----------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                    | на желатине<br>with carrageenan                                                      |  |        | на каррагинане<br>with carrageenan                        |        |                                                                         |
|                                                                    | крем ванильный из сметаны (контроль)<br>vanilla cream made from sour cream (control) |  |        | крем веганский<br>«Тропический»<br>vegan cream «Tropical» |        | крем веганский<br>«Бананово-кофейный»<br>vegan cream<br>«Banana-coffee» |
|                                                                    | мм   mm                                                                              |  | %      | мм   mm                                                   | %      | мм   mm   %                                                             |
| Общая деформация, $h_{обц}$<br>General deformation, $h_{gen}$      | 4,148                                                                                |  | 100,00 | 3,968                                                     | 100,00 | 3,242   100,00                                                          |
| Пластическая деформация, $h_{пл}$<br>Plastic deformation, $h_{pl}$ | 0,203                                                                                |  | 4,89   | 0,031                                                     | 0,78   | 0,719   22,18                                                           |
| Упругая деформация, $h_{упр}$<br>Elastic deformation, $h_{el}$     | 3,945                                                                                |  | 95,11  | 3,937                                                     | 99,22  | 2,523   77,82                                                           |

Уменьшение показателя упругой деформации свидетельствует о расслаблении структуры готового продукта, следовательно, наиболее нежной структурой обладает крем веганский «Бананово-кофейный», что коррелирует с его показателем плотности.

### Заключение

Таким образом, на основе классической рецептуры крема ванильного из сметаны разработаны рецептуры и технология приготовления желированных десертов для веганов: крем веганский «Тропический» и крем веганский «Бананово-кофейный».

В качестве структурообразователя вместо желатина использована смесь каппа-каррагинана и йота-каррагинана в соотношении 1: 2. При органолептической оценке установили, что использование каррагинанов в данном соотношении позволяет получить готовые продукты, характеризующиеся нежной консистенцией.

Замена продуктов животного происхождения на продукты растительного происхождения позволяет получить продукт, который можно рекомендовать не только для веганов, но и для тех, кто ограничивает употребление высококалорийных десертов. Калорийность разработанных образцов кремов ниже в 3,3 раза по сравнению с контрольным образцом, и составляет 75 ккал / 100 г. для крема веганского «Тропического» и 77 ккал / 100 г. для крема веганского «Бананово-кофейного».

В целом, проведенные исследования показывают, что разработанные желированные десерты для веганского питания по органолептическим, физико-химическим и структурно-механическим характеристикам находятся на уровне взятого в качестве контрольного образца крема ванильного из сметаны.

### Литература

- 1 Моргунова Е.М., Кондратенко С.А. Методологические подходы и принципы повышения качества и конкурентоспособности пищевых продуктов // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2023. Т. 16. № 2. С. 19–30.
- 2 Chen C., Chaudhary A., Mathys A. Dietary change scenarios and implications for environmental, nutrition, human health and economic dimensions of food sustainability // *Nutrients*. 2019. № 11. P. 856.
- 3 Волков А.В., Григорьева И.Ф. Мировой тренд на развитие производства продукции на растительной основе как инструмент достижения Целей устойчивого развития ООН // Управление и политика. 2023. Т. 2. № 2. С. 8–26. doi: 10.24833/2782–7062–2023–2–8–26
- 4 Рядинская А.А., Кошаев И.А., Чуев С.А., Лавриненко К.В. Разработка рецептуры функционального десерта в виде желе на растительной основе // Ползуновский вестник. 2022. Т. 1. № 4. С. 7–15. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2022.04.001
- 5 Скрипко О.В. Разработка технологии белковых желированных десертов для функционального питания // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 7 (109). С. 107–110. URL: [https://research-journal.org/media/PDF/irj\\_issues/7–109–1.pdf#page=107](https://research-journal.org/media/PDF/irj_issues/7–109–1.pdf#page=107)
- 6 Szydłowska A., Siwińska J., Kołozyn-Krajewska D. Cereal-based vegan desserts as container of potentially probiotic bacteria isolated from fermented plant-origin food // *CyTA – Journal of Food*. 2021. V. 19(1). P. 691–700. doi: 10.1080/19476337.2021.1963320
- 7 Martins da Silva J., Almeida Ferreira G.C., de Mesquita Oliveira C., de Oliveira Gomes B. et al. Non-dairy based desserts: a literature review // *Research, Society and Development*. 2020. V. 9 (11). doi: 10.33448/rsd-v9i11.10275
- 8 Mišková Z., Salek R. N., Křenková B., Kůrová V. et al. The effect of κ- and ι-carrageenan concentrations on the viscoelastic and sensory properties of cream desserts during storage // *LWT*. 2021. V. 145. P. 111539. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111539
- 9 Henden Y., Gümüş T., Kamer D.D.A., Kaynarca G.B. et al. Optimizing vegan frozen dessert: The impact of xanthan gum and oat-based milk substitute on rheological and sensory properties of frozen dessert // *Food Chemistry*. 2024. V. 460. P. 140787.
- 10 Craig W. J., Brothers C. J. Nutritional content of non-dairy frozen desserts // *Nutrients*. 2022. V. 14. № 19. P. 4150.
- 11 Здобнов А.И., Цыганенко В.А., Пересичный М.И. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий: для предприятий общественного питания. М.: Айрис-Пресс, 2024. 688 с.
- 12 ГОСТ 31986–2012. Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.
- 13 ГОСТ ISO 5492–2014. Органолептический анализ. Словарь. М.: Стандартинформ, 2020. 56 с.
- 14 Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских пищевых продуктов. М.: ДеЛи принт, 2008. 236 с.
- 15 Giridharaprasad S., Sudhakar V., Shewale S. R. Polysaccharides // *Structured Foods*. 2024. P. 226.
- 16 Amer S. A., El-Rahman A., Mohamed H. S. Development and evaluation of free sugar jelly made with leafy vegetables as a functional food // *Carpathian Journal of Food Science & Technology*. 2023. V. 15. № 3.
- 17 Kafili T. Characterization of nutritional and textural properties of vegan Kiwi jelly enriched by Spirulina extract // *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2024. V. 43(8). P. 3101–3112. doi: 10.30492/ijcce.2024.2018795.6370
- 18 Sheidaei Z., Sarmadi B., Hosseini M., Javanmardi. F. et al. Influence of κ-carrageenan, modified starch and inulin addition on rheological and sensory properties of non-fat and non-added sugar dairy dessert // *Current Nutrition & Food Science*. 2020. V. 16. № 4. P. 462–469.
- 19 Song X., Chiou B.S., Xia Y., Chen M. et al. The improvement of texture properties and storage stability for kappa carrageenan in developing vegan gummy candies // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022. V. 102. № 9. P. 3693–3702.
- 20 Крылова Р.В., Климина Е.В., Захарова И.И. Применение каррагинанов в современной кулинарии // Ландшафтный журнал. 2021. № 73 (2). С. 148–150. doi: 10.18411/lj 02–2021–73

## References

- 1 Morgunova E.M., Kondratenko S.A. Methodological approaches and principles of improving the quality and competitiveness of food products. *Food industry: science and technology*. 2023. vol. 16. no. 2. pp. 19–30. (in Russian).
- 2 Chen C., Chaudhary A., Mathys A. Dietary change scenarios and implications for environmental, nutrition, human health and economic dimensions of food sustainability. *Nutrients*. 2019. no. 11. pp. 856.
- 3 Volkov A.V., Grigorieva I.F. Global trend towards development of plant-based production as a tool for achieving the UN Sustainable Development Goals. *Management and Policy*. 2023. vol. 2. no. 2. pp. 8–26. doi: 10.24833/2782–7062–2023–2–2–8–26 (in Russian).
- 4 Ryadinskaya A.A., Koshchayev I.A., Chuev S.A., Lavrinenko K.V. Development of a recipe for a functional dessert in the form of plant-based jelly. *Polzunovsky Vestnik*. 2022. vol. 1. no. 4. pp. 7–15. doi: 10.25712/ASTU.2072–8921.2022.04.001 (in Russian).
- 5 Skripko O.V. Development of technology of protein gelled desserts for functional nutrition. *International scientific research journal*. 2021. no. 7 (109). pp. 107–110. URL: [https://research-journal.org/media/PDF/irj\\_issues/7–109–1.pdf#page=107](https://research-journal.org/media/PDF/irj_issues/7–109–1.pdf#page=107) (in Russian).
- 6 Szydłowska A., Siwińska J., Kołożyn-Krajewska D. Cereal-based vegan desserts as container of potentially probiotic bacteria isolated from fermented plant-origin food. *CyTA – Journal of Food*. 2021. vol. 19(1). pp. 691–700. doi: 10.1080/19476337.2021.1963320
- 7 Martins da Silva J., Almeida Ferreira G.C., de Mesquita Oliveira C., de Oliveira Gomes B. et al. Non-dairy based desserts: a literature review. *Research, Society and Development*. 2020. vol. 9 (11). doi: 0.33448/rsd-v9i11.10275
- 8 Mišková, Z., Salek, R. N., Křenková, B., Kůrová, V. et al. The effect of κ- and ι-carrageenan concentrations on the viscoelastic and sensory properties of cream desserts during storage. *LWT* vol. 145. pp. 111539. doi:10.1016/j.lwt.2021.111539
- 9 Henden Y. Gümüş T., Kamer D.D.A., Kaynarca G.B. et al. Optimizing vegan frozen dessert: The impact of xanthan gum and oat-based milk substitute on rheological and sensory properties of frozen dessert // *Food Chemistry*. 2024. vol. 460. pp. 140787
- 10 Craig W. J., Brothers C. J. Nutritional content of non-dairy frozen desserts // *Nutrients*. 2022. vol. 14. no. 19. pp. 4150.
- 11 Zdobnov A.I., Tsyganenko V.A., Peresichny M.I. Collection of recipes for dishes and culinary products: for catering establishments. Moscow: Iris-Press, 2024. 688 p. (in Russian).
- 12 State Standard 31986–2012. Public catering service. Method of sensory evaluation of catering products. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 11 p. (in Russian).
- 13 State Standard ISO 5492–2014. Organoleptic analysis. Methodology. Vocabulary. Moscow, Standartinform Publ., 2020. 56 p. (in Russian).
- 14 I. M. Skurikhin, V. A. Tutelyan, Chemical composition of Russian food products. Moscow: DeLi print, 2008. 236 p. (in Russian).
- 15 Giridharaprasad S., Sudhakar V., Shewale S. R. 11 Polysaccharides // *Structured Foods*. 2024. pp. 226.
- 16 Amer S. A., El-Rahman A., Mohamed H. S. Development and evaluation of free sugar jelly made with leafy vegetables as a functional food // *Carpathian Journal of Food Science & Technology*. 2023. vol. 15. no. 3.
- 17 Kafili T. Characterization of nutritional and textural properties of vegan Kiwi jelly enriched by Spirulina extract // *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2024. Vol. 43(8), pp. 3101–3112. doi: 10.30492/ijcce.2024.2018795.6370
- 18 Sheidaei Z. Sarmadi B., Hosseini M., Javanmardi. F. et al. Influence of κ-carrageenan, modified starch and inulin addition on rheological and sensory properties of non-fat and non-added sugar dairy dessert // *Current Nutrition & Food Science*. 2020. Vol. 16. no. 4. pp. 462–469.
- 19 Song X. Chiou B.S., Xia Y., Chen M. et al. The improvement of texture properties and storage stability for kappa carrageenan in developing vegan gummy candies // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022. Vol. 102. no. 9. pp. 3693–3702.
- 20 Krylova R.V., Klimina E.V., Zakharova I.I. The use of carrageenans in modern cooking. *Landscape magazine*. 2021. no. 73 (2). pp. 148–150. doi: 10.18411/lj 02–2021–73 (in Russian).

## Сведения об авторах

**Нина И. Мячикова** к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов питания, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, 85, г. Белгород 308015, Россия, myachikova@bsu.edu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7997-0605>

**Юрий А. Болтенко** к.т.н., кафедра технологии продуктов питания, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия, boltenko@bsu.edu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2183-2263>

**Яна В. Чуркина** ассистент, кафедра технологии продуктов питания, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия, churkina\_ya@bsu.edu.ru

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

**Лариса Н. Фролова** д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, fln-84@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

## Information about authors

**Nina I. Myachikova** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Food technology department, Belgorod State National Research University, Pobedy Str., 85, Belgorod, 308015, Russia, myachikova@bsu.edu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7997-0605>

**Yuriy A. Boltenko** Cand. Sci. (Engin.), Food technology department, Belgorod State National Research University, Pobedy Str., 85, Belgorod, 308015, Russia, boltenko@bsu.edu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2183-2263>

**Yana V. Churkina** assistant, Food technology department, Belgorod State National Research University, Pobedy Str., 85, Belgorod, 308015, Russia, churkina\_ya@bsu.edu.ru

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

**Larisa N. Frolova** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Machines and Devices of Food Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, fln-84@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

**Марина В. Чернова** заведующая отделом общественного питания, Центр по внебюджетной деятельности, Белгородская областная клиническая больница Святителя Иосафа, ул. Некрасова, 8/9, г. Белгород, 308007, Россия, chernovam81@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

**Анна А. Дерканосова** д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Marina V. Chernova** Head of the Catering Department, Center for Extra-Budgetary Activities, Belgorod Regional Clinical Hospital of St. Joasaph, Nekrasova Str., 8/9, Belgorod, 308007, Russia, chernovam81@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

**Anna A. Derkanosova** Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 21/10/2024 | После редакции 11/11/2024      | Принята в печать 25/11/2024 |
| Received 21/10/2024  | Accepted in revised 11/11/2024 | Accepted 25/11/2024         |

## Исследование ассортимента и определение синтетических азокрасителей в составе киселей – концентратов сладких блюд

|                        |              |                                                                |                                                                                                         |
|------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Надежда А. Коломейцева | <sup>1</sup> | <a href="mailto:k-nadya2704@ya.ru">k-nadya2704@ya.ru</a>       |  0000-0002-5549-6619 |
| Ирина А. Глотова       | <sup>1</sup> | <a href="mailto:glotova-irina@ya.ru">glotova-irina@ya.ru</a>   |  0000-0002-9991-1183 |
| Анна А. Дерканосова    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:aa-derk@yandex.ru">aa-derk@yandex.ru</a>       |  0000-0002-9726-9262 |
| Алла Е. Куцова         | <sup>1</sup> | <a href="mailto:alla-toporkova@ya.ru">alla-toporkova@ya.ru</a> |  0000-0002-5778-6150 |

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Проблема использования синтетических красителей (СК) в продуктах массового потребительского спроса, к которым относятся кисели, а также методов качественного и количественного контроля их содержания является актуальной как для производителей, так и для потребителей. В работе решали задачи: мониторинг рынка киселей с точки зрения применения производителями СК; анализ современных тенденций в определении СК в безалкогольных напитках с адаптацией метода экстракционно-хроматографического определения синтетических красителей в безалкогольных напитках к киселям – концентратам сладких блюд. Товарные предложения киселей исследовали методами наблюдений с последующим анализом и систематизацией, в крупнейших торговых сетях г. Воронежа: по следующим группам: сухой концентрат киселя, требующий варки; сухой концентрат киселя быстрорастворимый. Наличие СК по результатам информационной экспертизы было установлено для пяти из двенадцати торговых марок сухого концентрата киселя, из них два требующих варки и три быстрорастворимых, то есть 40 %, содержат искусственные красители, ароматизаторы, либо нанесенная на упаковку маркировка не позволяет их идентифицировать. Объектами исследования методом хроматографии в тонком слое с предварительным экстракционным концентрированием СК служили сухие концентраты киселя быстрорастворимые: кисель плодово-ягодный, ТМ «Кубань Матушка»; кисели с ароматом клубники, лесной ягоды, вишни, ТМ «Радово». Установлено, что состав подвижной фазы из ацетона, бутилового спирта и концентрированного раствора гидроксида натрия обеспечивает хорошее разделение азокрасителей и интенсивность окраски хроматографических пятен. В данной системе коэффициент подвижности  $R_f$  для азокрасителей тартразин (Е 102), понсо 4R (Е 124), кармуазин или азорубин (Е 122), увеличивается в указанной последовательности. Увеличение содержания органических растворителей в подвижной фазе снижает селективность разделения, так как может приводить к перекрыванию хроматографических пятен. Для количественного определения азокрасителей можно использовать сканер и персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением.

**Ключевые слова:** концентрат сладких блюд, синтетические красители, азокрасители, идентификация, кармуазин, тартразин, понсо 4R.

## Research of the assortment and determination of synthetic azo dyes in the composition of jelly concentrates of sweet dishes

|                          |              |                                                                |                                                                                                           |
|--------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nadezhda A. Kolomeytseva | <sup>1</sup> | <a href="mailto:k-nadya2704@ya.ru">k-nadya2704@ya.ru</a>       |  0000-0002-5549-6619 |
| Irina A. Glotova         | <sup>1</sup> | <a href="mailto:glotova-irina@ya.ru">glotova-irina@ya.ru</a>   |  0000-0002-9991-1183 |
| Anna A. Derkanosova      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:aa-derk@yandex.ru">aa-derk@yandex.ru</a>       |  0000-0002-9726-9262 |
| Alla E. Kutsova          | <sup>1</sup> | <a href="mailto:alla-toporkova@ya.ru">alla-toporkova@ya.ru</a> |  0000-0002-5778-6150 |

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** The problem of using synthetic dyes (SD) in mass-market products, which include jelly, as well as methods of qualitative and quantitative control of their content is relevant for both producers and consumers. The work solved the following tasks: monitoring the kissel market from the point of view of the use of SD by manufacturers; analysis of modern trends in determining SD in soft drinks with the adaptation of the method of extraction-chromatographic determination of synthetic dyes in soft drinks to kissels – concentrates of sweet dishes. The product offerings of kissels were studied by observation methods with subsequent analysis and systematization, in the largest retail chains of Voronezh: in the following groups: dry concentrate of kissel requiring cooking; dry concentrate of instant kissel. The presence of SD based on the results of the information examination was established for five out of twelve brands of dry concentrate of kissel, of which two requiring cooking and three instant, i.e. 40 %, contain artificial colors, flavors, or the marking applied to the packaging does not allow their identification. The objects of the study by the method of chromatography in a thin layer with preliminary extraction concentration of SD were instant dry concentrates of kissel: fruit and berry kissel, TM "Kuban Matushka"; kissels with the aroma of strawberry, wild berry, cherry, TM "Radovo". It was established that the composition of the mobile phase from acetone, butyl alcohol and concentrated sodium hydroxide solution ensures good separation of azo dyes and the intensity of the color of chromatographic spots. In this system, the mobility coefficient  $R_f$  for the azo dyes tartrazine (E 102), ponceau 4R (E 124), carmoisine or azorubin (E 122) increases in the indicated sequence. Increasing the content of organic solvents in the mobile phase reduces the selectivity of separation, since it can lead to overlapping of chromatographic spots. For quantitative determination of azo dyes, a scanner and a personal computer with the appropriate software can be used.

**Keywords:** sweet food concentrate, synthetic dyes, azo dyes, identification, carmoisine, tartrazine, ponceau 4R.

Для цитирования

Коломейцева Н.А., Дерканосова А.А., Глотова И.А., Куцова А.Е. Исследование ассортимента и определение синтетических азокрасителей в составе киселей – концентратов сладких блюд // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 32–39. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-32-39

For citation

Kolomeytseva N.A., Derkanosova A.A., Glotova I.A., Kutsova A.E. Research of the assortment and determination of synthetic azo dyes in the composition of jelly concentrates of sweet dishes. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 32–39. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-32-39

## Введение

Еда и напитки являются частью культуры народа, формируя национальные традиции, культурный суверенитет как совокупность социально-культурных факторов, позволяющих народу и государству формировать свою идентичность, избегать социально-психологической и культурной зависимости от внешнего влияния [1].

С этих позиций кисель имеет глубокие культурные и семантические корни, несет образ культурного наследия и древней мудрости. Например, первый масленичный блин испекли в IX веке именно на киселе, именно с помощью киселя был спасен русский Белый город при осаде печенегами в 997 году. Кисель является тем ретро-продуктом, который символизирует связь поколений в семье.

Интенсивный ритм жизни современного человека, не позволяет тратить значительное время на приготовление пищи и приводит к изменению структуры спроса. Кроме того, кисель в виде «дегидратированных упакованных полуфабрикатов» является продуктом, актуальным для оптимизации питания в социально значимых сферах: для работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, различного типа организованных коллективах, включая детские, и т. д. [2].

В розничных торговых сетях Российской Федерации кисель можно приобрести в готовой к употреблению товарной форме безалкогольного напитка [3] или в виде концентрата сладких блюд в насыпном либо в брикетированном виде [4]. Анализ нормативной документации показывает, что помимо киселей, к концентратам сладких блюд относят «муссы, желе, кремы, пудинги» [4].

На основе анализа ассортимента киселей примере торговой сети г. Кемерово предлагается использовать деление этого сегмента рынка на следующие группы: 1) сухие быстрозавариваемые кисели, 2) сухие насыпные кисели, требующие варки, 3) сухие брикетированные кисели, 4) бутилированные кисели, готовые к употреблению и готовые напитки на основе зернового сырья. При этом на долю быстрозавариваемых киселей приходится 24 % рынка, а на долю сухих насыпных и сухих брикетированных киселей суммарно – 72 % ассортимента в торговой сети г. Кемерово.

Таким образом, все большее значение в структуре питания населения приобретают пищекопцентраты и готовые к употреблению блюда, в том числе десертные блюда и напитки. В зависимости от используемого сырья, кисели, муссы, желе могут вырабатываться «на плодовых или ягодных экстрактах концентрированных соков». В противном случае ГОСТ 18488–2000 регламентирует возможность и необходимость использования при производстве киселей, муссов, желе «вкусовых и ароматических добавок», впрочем, без указания на их рекомендуемый или допустимый перечень.

Тем не менее, в ГОСТ 18488–2000 оказалась без упоминания важная группа пищевых добавок, применение которых играет важную роль в формировании потребительских свойств питьевых киселей как части группового ассортимента безалкогольных напитков, а также как части группового ассортимента концентратов сладких блюд – это пищевые красители различной природы.

На территории стран, входящих в ЕАЭС, требования безопасности пищевых добавок, в том числе синтетических красителей (СК), а также ароматизаторов и технологических вспомогательных средств являются объектом регулирования ТР ТС 029/2012 «Требования к безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», в соответствии с которым является допустимым применение 13 синтетических красителей [5]. При этом их содержание не должно превышать значения из установленного диапазона 50–500 мг/кг, а в продуктах для детского питания и ряде других продуктов.

Следует отметить, что в перечень стандартных показателей гигиенической оценки концентратов киселей, в том числе функционального значения, не входит определение искусственных красителей, как факторов потенциального негативного влияния на здоровье человека, а кисель традиционно является компонентом меню для детского питания.

В то же время, традиционный состав киселей в качестве десертных блюд, помимо высокого, более 75, гликемического индекса, за счет значительного содержания крахмала и сахара [6], характеризуется «определенным процентом ароматизаторов и пищевых красителей» [7], среди которых в ряде случаев отмечено применение красителей неидентифицированной природы.

При этом результаты исследований показывают, что потребители делают выбор в пользу напитков, содержащих натуральное сырье, натуральные источники красителей и ароматов [8]. Высоким спросом пользуются напитки, которые не создают углеводную нагрузку на эндокринную систему за счет быстроусвояемых углеводов и рафинированной сахарозы [6].

Таким образом, помимо целевой профилактики и коррекции метаболических нарушений путем разработки рецептур пищевых концентратов киселей с использованием сахарозаменителей и интенсивных подсластителей, в плане защиты экологии человека, комплексного обеспечения здоровьесбережения населения различных возрастных категорий особую актуальность имеет проблема использования искусственных красителей в продуктах массового потребительского спроса, к которым относятся кисели, а также методов качественного и количественного контроля их содержания в данных продуктах.

Задачи работы: мониторинг рынка киселей на примере торговых сетей г. Воронежа и популярных маркетплейсах («Вайлдберрис», «Озон», «Яндекс-маркет») с точки зрения применения искусственных красителей; анализ современных тенденций в определении искусственных красителей в безалкогольных напитках с адаптацией метода экстракционно-хроматографического определения синтетических красителей в безалкогольных напитках к киселям – концентратам сладких блюд.

### Материалы и методы

Для проведения исследований товарных предложений киселей были использованы методы наблюдений с последующим анализом и систематизацией, в крупнейших торговых сетях г. Воронежа: «ОКей», «Магнит», «Центрторг», «Пятерочка», «Линия», «Перекресток», «Чижик», «Маяк» по следующим группам: сухой концентрат киселя, требующий варки; сухой концентрат киселя быстрорастворимый.

Объектами исследования служили сухие концентраты киселя быстрорастворимые:

кисель плодово-ягодный, ТМ «Кубань Матушка», производитель ООО «Югоптторг-23», г. Краснодар;

кисели с ароматом клубники, лесной ягоды, вишни, ТМ «Радово», производитель ООО «Стандарт», г. Ижевск.

Для разделения и идентификации СК была выбрана тонкослойная хроматография [9-11]. С учетом методик, изложенных в [12], анализировали подготовленные к употреблению напитки в соответствии с рекомендациями производителей.

Исследование азокрасителей (АК) в составе сухих концентратов киселя проводили по схеме: концентрирование АК – идентификация АК с возможным последующим количественным определением АК при необходимости.

Концентрирование АК проводили в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.

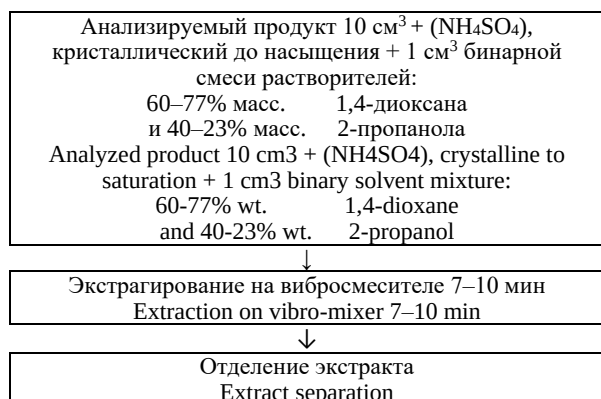


Рисунок 1. Последовательность и условия проведения концентрирования АК в анализируемых пробах киселей, приготовленных из сухих быстрорастворимых концентратов

Figure 1. Sequence and conditions for the concentration of azo dyes (AD) in analyzed samples of jelly prepared from dry instant concentrates

Красители идентифицировали, используя метод восходящей хроматографии в тонком слое на пластине «Silufol» (Чехия) в качестве неподвижной фазы. Для идентификации применяли приготовленные стандартные растворы анализируемых АК, путем сравнения окраски и коэффициента подвижности  $R_f$  определяемого и стандартного компонентов, который рассчитывали по формуле  $R_f = X / X_f$ , где  $X$  – фронт смещения идентифицируемого красителя;  $X_f$  – фронт смещения растворителя [12].

Для приготовления стандартных образцов были использованы следующие АК: тартразин (85,0 %, Acros Organics, Индия); понсо 4R (99,0 %, Sigma-Aldrich, Китай); кармуазин (азорубин) (90,0 %, Sigma-Aldrich, Китай).

Хроматографическим шприцем отбирали 0,010 см<sup>3</sup> экстракта и наносили на линию старта в нижней части пластины «Silufol». На дно хроматографической камеры помещали смесь растворителей (ацетон – бутиловый спирт – гидроксид натрия в виде концентрированного раствора). Объемное соотношение растворителей составляло 2:5:1. Продолжительность хроматографирования 40 мин.

### Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены данные по исследованию ассортимента и состава сухих концентратов киселей популярных торговых марок, в составе которых производителем декларировано использование СК, или же маркировка не позволяет идентифицировать происхождение пищевого красителя. При этом наличие СК по результатам информационной экспертизы было установлено для пяти из двенадцати торговых марок сухого концентрата киселя, из них два требующих варки и три быстрорастворимых, то есть 40 %, содержат искусственные красители, ароматизаторы, либо нанесенная на упаковку маркировка не позволяет их идентифицировать, например, кисель «Клюквенный», ТМ Трапеца, производитель ООО «Новосибирский пищевой комбинат».

В связи с тем, что у производителей киселей среди СК наиболее популярны азокрасители, цвет которых соответствует натуральной цветовой гамме широко используемого для производства киселей плодово-ягодного сырья, был также проведен поиск киселей из недорогого ценового сегмента на маркетплейсах, по ключевым словам: «кисель» и «тартразин», «кисель» и «кармуазин», «кисель» и «Понсо 4R».

Результаты показали наличие в продаже (маркетплейс «Вайлдберрис») киселя плодово-ягодного, ТМ «Кубань Матушка», производитель ООО «Югоптторг-23», г. Краснодар, ул. Стмферопольская, 62. В состав, согласно маркировке производителя, входят следующие компоненты: сахар; крахмал картофельный; лимонная кислота;

ароматизатор пищевой идентичный натуральному "Плодово-ягодный": персик, банан, яблоко, абрикос, краситель пищевой "Кармуазин" (Е 122). Дополнительно отмечено, что кисель содержит красители, которые могут отрицательно влиять на активность и внимание детей.

Вторым результатом поиска стали кисели с ароматом клубники, лесной ягоды, вишни и персика, ТМ «Радово», производитель ООО «Стандарт», г. Ижевск, ул. Новоажимова, 12. Кисели имеют идентичный состав компонентов: сахар, крахмал картофельный, крахмал кукурузный, регулятор кислотности: лимонная кислота,

витамин С (аскорбиновая кислота), отличаясь использованными ароматизаторами и СК: с ароматом клубники – ароматизатор "Клубника", пищевые красители "Понсо 4R" (Е 124), "Тартразин" (Е 102); с ароматом лесной ягоды – ароматизатор "Лесная ягода", пищевой краситель "Понсо 4R" (Е 124); с ароматом вишни – ароматизатор "Вишня", пищевой краситель "Понсо 4R" (Е 124), с ароматом персика – ароматизатор "Персик", пищевой краситель "Понсо 4R" (Е 124), "Тартразин" (Е 102). Дополнительно отмечено, что кисели ТМ «Радово» являются витаминизированным продуктом.

Таблица 1.

Данные по исследованию ассортимента и состава сухих концентратов киселей популярных торговых марок

Table 1.

Data on the study of the range and composition of dry concentrates of jelly of popular brands

| Наименование<br>Name                                               | Наличие<br>в торговых сетях<br>Availability in<br>retail chains | Производитель<br>Manufacturer                              | Нормативный<br>или технический<br>документ<br>Regulatory or<br>technical document | Способ приготовления<br>Method of preparation | Наличие искусственных<br>ароматизаторов,<br>синтетических<br>красителей<br>Presence of artificial<br>flavors, synthetic colors                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Давыдовский<br>продукт. Кисель<br>плодово-ягодный                  | Центрторг                                                       | Давыдовский<br>овощесушильный завод                        | ГОСТ Р ИСО<br>22000–2007 (ISO<br>22000–2005)                                      | Требующий варки<br>Requiring boiling          | Ароматизатор<br>идентичный<br>натуральному<br>Flavoring identical to<br>natural flavoring                                                                                                                        |
| Моя цена. Кисель<br>клубника                                       | Магнит,<br>ЗАО «Тандер»                                         | Моя цена, СТМ                                              | ТУ 10.39.19–013–<br>44–18433–2019                                                 |                                               | Ароматизатор<br>Клубника, Тартразин<br>(Е 102), Понсо 4R<br>(Е 124), Синий<br>блестящий (Е 133)<br>Flavor Strawberry,<br>Tartrazine (Е 102),<br>Ponceau 4R (Е 124),<br>Brilliant Blue (Е 133)                    |
| Моя цена. Кисель<br>клюква                                         | Магнит,<br>ЗАО «Тандер»                                         | Моя цена, СТМ                                              | ТУ 10.39.19–013–<br>44–18433–2019                                                 |                                               | Ароматизатор Клюква,<br>Тартразин (Е 102),<br>Кармуазин (Е 122),<br>Синий блестящий<br>(Е 133)<br>Flavoring Cranberry,<br>Tartrazine (Е 102),<br>Carmoisine (Е 122),<br>Brilliant Blue (Е 133)                   |
| Кисель ТЧН!<br>клубника<br>вишня<br>моментального<br>приготовления | ОКей                                                            | ООО «Стандарт»,<br>г. Краснодар                            | ТУ 10.89 19–017<br>61954469–2016                                                  | Быстрорастворимый<br>Fast dissolving          | Ароматизатор<br>Клубника, Понсо 4R<br>(Е 124)<br>Strawberry flavoring,<br>Ponceau 4R (Е 124)                                                                                                                     |
| Экспресс-кисель<br>Мастер Дак<br>со вкусом ассорти                 | Центрторг                                                       | ООО «Сантус», г. Москва                                    | ТУ 10.89.19–002–<br>05782906–2017                                                 |                                               | Ароматизатор<br>идентичный<br>натуральному "Лесная<br>ягода", "Персик",<br>"Яблоко"<br>Flavoring identical to<br>natural flavoring Forest<br>Berry, Peach, Apple                                                 |
| Кисель<br>Клюквенный<br>Трапеза                                    | Маяк                                                            | ООО «Новосибирский<br>пищевой комбинат»,<br>г. Новосибирск | ТУ 10.89.19–026–<br>49073982                                                      |                                               | Пищевые<br>ароматизаторы<br>и красители, нет<br>возможности<br>идентифицировать<br>по нанесенной<br>маркировке<br>Food flavorings and<br>coloring agents that<br>cannot be identified by the<br>applied labeling |

Витаминация продуктов массового потребительского спроса, безусловно, является позитивной тенденцией, особенно для потребителей детского и пожилого возраста [13, 14]. Однако одновременное внесение в продукт витаминов и СК может нивелировать положительное влияние витаминов, в том числе, на формирование микробиоты детей младшего возраста [13]. Систематизируя результаты исследований, изложенные в отечественных и зарубежных работах, следует отметить как общие негативные результаты воздействия на организм и взрослых, и детей со стороны СК (рисунок 2), так и отдельные специфические проявления действия азокрасителей в опытах *in vivo* на лабораторных животных.

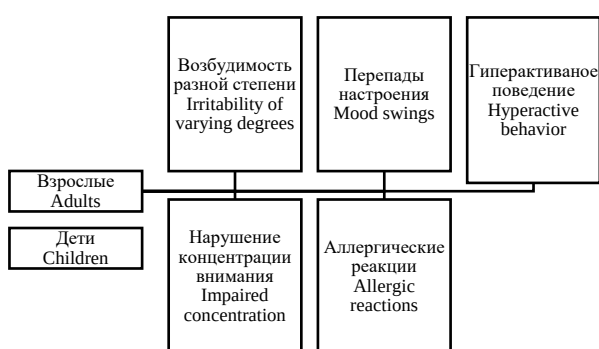


Рисунок 2. Общие негативные результаты воздействия СК в составе продуктов питания на потребителей разного возраста

Figure 2. General negative effects of SC in food products on consumers of different ages

Отмечены гематотоксичные и иммунотоксичные свойства тартразина, его способность вызывать поражения печени и почек, нарушать антиоксидантную защиту организма в отношении взрослых самцов крыс линии Wistar [15]. У теплокровных лабораторных животных выявлены гистологические и морфометрические изменения щитовидной железы после 60-суточного введения тартразина [16], зафиксирована слабая цитогенетическая активность в микроядерном тесте на клетках костного мозга под действием красителя Жёлтый «солнечный закат» [17].

В связи с наличием в химической структуре азокрасителей и продуктов их деструкции нафталинового цикла, они являются для живых систем «токсикантами канцерогенного действия» [12, 18].

В связи с этим, актуальной задачей является совершенствование существующих и перспективная разработка новых методов идентификации и контроля количественного содержания СК в концентрированных пищевых системах.

Определение синтетических красителей в спортивных напитках явилось предметом исследований в Бразилии, при этом для извлечения СК из сухого порошка был применен метод дисперсионной твердофазной экстракции, а визуализацию результатов проводили с использованием ВЭЖХ с УФ-детектированием [13]. Однако более простым и дешевым в реализации с точки зрения аппаратного оформления и квалификации обслуживающего персонала является использование для идентификации СК тонкослойной хроматографии. В Бразилии этим методом идентифицировали тартразин (Е 102), амарант (Е123), желтый закат (Е 110) и блестящий синий (Е 133), используя его для подтверждения состава безалкогольных напитков по наличию СК, указанного на этикетке [20].

Электрохимическое поведение красного пищевого красителя кармуазина обуславливает возможность вольтамперометрического определения карминовой кислоты в безалкогольных напитках с пределом ее обнаружения 0,02 мг/дм<sup>3</sup>. Однако данный метод не дает возможности одновременного определения двух и более азокрасителей, а такая необходимость может возникать, о чем свидетельствуют результаты мониторинга состава концентратов сладких блюд по наличию СК.

Для разделения и идентификации СК авторами [10] была рекомендована тонкослойная хроматография в качестве эффективного метода для идентификации СК в безалкогольных напитках, включая соки со вкусом граната, для окрашивания которых наиболее часто производители применяли сочетание СК кармуазин + Желтый закат с использованием в качестве критерия коэффициента подвижности  $R_f$ .

В таблице 2 представлены результаты расчета коэффициентов подвижности  $R_f$  для стандартных образцов красителей и красителей в составе исследуемых образцов популярных быстрорастворимых концентратов киселей ТМ «Кубань Матушка» и «Радово».

Использованный состав подвижной фазы из ацетона, бутилового спирта и концентрированного раствора гидроксида натрия обеспечивает хорошее разделение СК и увеличивает интенсивность окраски хроматографических пятен. Коэффициент подвижности  $R_f$  для исследованных СК увеличивается в следующей последовательности: Е 102 < Е 124 < Е 122. Увеличение содержания органических растворителей в подвижной фазе снижает селективность разделения, так как может приводить к перекрыванию хроматографических пятен.

Таблица 2.

Коэффициенты подвижности  $R_f$  для стандартных образцов красителей и красителей в составе исследуемых образцов киселей

Table 2.

Mobility coefficients  $R_f$  for standard samples of dyes and dyes in the composition of the studied samples of jelly

| Цвет пятен на хроматограмме<br>Color of spots on chromatogram | Коэффициенты подвижности $R_f$<br>Mobility coefficients $R_f$ |                                                                                                                             | Обнаруженный краситель<br>Detected dye                        |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
|                                                               | для синтетических красителей<br>for synthetic dyes            | для исследуемых образцов<br>for test samples                                                                                |                                                               |
| Розовый<br>Pink                                               | E 122; $R_f = 0,46$                                           | Кисель плодово-ягодный ТМ «Кубань Матушка»<br>Fruit and berry jelly TM "Kuban Matushka"<br>$R_f = 0,44$                     | E 122 Кармуазин<br>Carmoisin                                  |
| Светло-розовый<br>Light Pink                                  | E 124; $R_f = 0,31$                                           | Кисель с ароматом вишни ТМ «Радово»<br>Jelly with the aroma of cherry TM "Radovo"<br>$R_f = 0,31$                           | E 124 Понсо 4R<br>Ponceau 4R                                  |
| Светло-розовый<br>Light Pink                                  | E 124; $R_f = 0,31$                                           | Кисель с ароматом лесной ягоды ТМ «Радово»<br>Jelly with the aroma of wild berries TM "Radovo"<br>$R_f = 0,31$              | E 124 Понсо 4R<br>Ponceau 4R                                  |
| Светло-розовый Light Pink<br>Лимонно-желтый<br>Lemon Yellow   | E 102; $R_f = 0,25$<br>E 124; $R_f = 0,31$                    | Кисель с ароматом клубники ТМ «Радово»<br>Jelly with the aroma of strawberry TM "Radovo"<br>$R_{f1} = 0,25$ $R_{f2} = 0,31$ | E 102 тартразин<br>E 124 Понсо 4R<br>Tartrazine<br>Ponceau 4R |

### Заключение

Мониторинг рынка киселей быстрого приготовления доступен большинству покупателей ценового сегмента на примере торговых сетей г. Воронежа и популярных маркетплейсах («Вайлдберрис», «Озон», «Яндекс-маркет») показал актуальность проблемы использования производителями в составе продуктов, в том числе обогащенного состава и витаминизированных, синтетических красителей. Экстракционно-хроматографический метод идентификации и при

необходимости количественного определения СК является доступным с точки зрения аппаратного и кадрового обеспечения физико-химических и измерительных процедур при его реализации.

Экстракционно-хроматографическая методика позволяет идентифицировать и при необходимости количественно определять азокрасители в водных растворах на уровне различных, в том числе микроконцентраций, с применением обычной офисной техники: сканер и персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением.

### Литература

- 1 Марьина Т. Блин всухомятку. Как развивается рынок пищевых концентратов в России? Санкт-Петербургские ведомости. 13.02.2023 г. URL: [https://spbvedomosti.ru/news/country\\_and\\_world/blin-vsukhomyatku-kak-razvivaetsya-rynok-pishchevykh-konsentratov-v-rossii/](https://spbvedomosti.ru/news/country_and_world/blin-vsukhomyatku-kak-razvivaetsya-rynok-pishchevykh-konsentratov-v-rossii/)
- 2 Соколов А.Ю., Акимов Н.А. Управление качеством концентрированных киселей для профессионального питания // Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2020. Т. 17. № 6 (114). С. 208–214. doi: 10.21686/2413-2829-2020-6-208-214
- 3 ГОСТ Р 56558–2015. Консервы. Кисели питьевые фруктовые. Общие технические условия. М.: Стандартинформ. 8 с.
- 4 ГОСТ 18488–2000. Концентраты пищевые сладких блюд. Общие технические условия. М.: Стандартинформ. 6 с.
- 5 ТР ТС 029/2012. Требования к безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств. Евраз. эконо. комис. Минск: Госстандарт: БелГИСС, 2014. 272 с.
- 6 Морозова С.С., Бакуменко О.Е., Тарасова В.В. Разработка рецептур пищевых концентратов киселей с использованием сахарозаменителей и интенсивных подсластителей // Пищевая промышленность. 2020. № 6. С. 13–18. doi: 10.24411/0235-2486-2020-10058
- 7 Яшин А.Н., Агаркова Е.Ю. Кисель с низким гликемическим индексом. Обзор рынка РФ. // Сборник материалов Поландовских чтений VI международной научно-практической молодежной конференции «Пищевые технологии будущего» (5 июня 2024 г.). ФГАНУ НИИХП. М.: ООО «Белый Ветер». 2024. С. 159–166.
- 8 Sperl R., Carle R., Müller-Maatsch J., Gebhardt B. Assessing the sustainability of natural and artificial food colorants. Journal of Cleaner Production. 2020. V. 260. P. 120884. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120884
- 9 Malaarachchi Ch., Rajanayake R.M., Amaradivakara, W.A.A.V.S. Development of a Qualitative and Quantitative Method for Determination of Artificial Food Colourants in Carbonated Beverages // International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology. 2018. doi: 10.15680/IJIRSET.2018.0707017
- 10 Хальзова С.А., Зяблов А.Н. Определение азокрасителей в безалкогольных напитках методом ТСХ // Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т. 22. № 3. С. 252–260. doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/9332
- 11 Haydarova M.A., Kodirov Z. Effective methods for identifying synthetic dyes in soft drinks // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2024. V. 2 P. 119.
- 12 Пат. № 2398217, RU, G01N 21/25, C09B 61/00. Способ идентификации синтетических пищевых красителей / Санникова Н.Ю., Коренман Я.И., Суханов П.Т. № 2008149487/05; Заявл. 15.12.2008; Оpubл. 27.08.2010, Бюл. № 24.

- 13 Drall K.M., Field C.J., Haqq A.M., de Souza, R. J. et. al. Vitamin D supplementation in pregnancy and early infancy in relation to gut microbiota composition and *C. difficile* colonization: implications for viral respiratory infections // *Gut Microbes*. 2020. V. 12. P. 1799734. doi : 10.1080/19490976.2020.1799734
- 14 Ugur H., Catak J., Mirzak O.F., Çebi N. et. al. Determination and evaluation of in vitro bioaccessibility of added vitamin C in commercially available fruit-, vegetable-, and cerealbased baby foods // *Food Chemistry*. 2020. V. 330. № 15. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127166
- 15 Golli El. N., Elbini I., Jrad A., Boudali I. et. al. Toxicity Induced after Subchronic Administration of the Synthetic Food Dye Tartrazine in Adult Rats, Role of Oxidative Stress. *Recent Advances in Biology and Medicine*. 2016. № 6. P. 20–28. doi: 10.18639/RABM.2016.02.284474
- 16 Морозов В.Н., Лузин В.И. Влияние 60-ти дневного введения тартразина и нанесения дефекта в большеберцовых костях на гистологическое строение и морфометрические параметры щитовидной железы крыс // *Астраханский медицинский журнал*. 2023. Т. 18, № 4. С. 58–66. doi: 10.17021/1992–6499–2023–4–58–66
- 17 Ахальцева Л.В., Юрченко В.В., Юрцева Н.А., Коняшкина М.А. Оценка генотоксичности пищевого красителя Жёлтый «солнечный закат» в микроядерном тесте in vivo // *Гигиена и санитария*. 2022. Т. 101(9). С. 1093–1097. doi: 10.47470/0016–9900–2022–101–9–1093–1097
- 18 Rajapaksha, G.K.M., Wansapala, M.A.J., Silva A.B.G. Detection of Synthetic Colours in Selected Foods & Beverages Available in Colombo District, Sri Lanka. *International Journal of Science and Research*. 2017. V. 6. №. 5. P. 801–808. doi: 10.21275/ART20173280
- 19 Floriano L., Ribeiro L.C., Saibt N., Bandeira N.M.G. et. al. Determination of Six Synthetic Dyes in Sports Drinks by Dispersive Solid-Phase Extraction and HPLC-UV-Vis. *J. Braz. Chem. Soc*. 2018. V. 29. №3. P. 602-608. doi: 10.21577/0103–5053.20170173
- 20 Andrade F.I., Guedes M.I.F., Vieira I.G.P., Mendes F.N.P. et. al. Determination of synthetic food dyes in commercial soft drinks by TLC and ion-pair HPLC. *Food Chemistry*. 2014. V. 157. P. 193–198. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.100

## References

- 1 Maryina T. Dry pancake. How is the food concentrate market developing in Russia? *Sankt-Peterburgskie Vedomosti*. 13.02.2023. URL: [https://spbvedomosti.ru/news/country\\_and\\_world/blin-vsukhomyatku-kak-razvivaetsya-rynok-pishchevykh-konsentratov-v-rossii/](https://spbvedomosti.ru/news/country_and_world/blin-vsukhomyatku-kak-razvivaetsya-rynok-pishchevykh-konsentratov-v-rossii/) (in Russian).
- 2 Sokolov A. Yu., Akimova N.A. Quality management of concentrated jelly for professional nutrition. *Bulletin of Plekhanov Russian University of Economics*. 2020. vol. 17. no. 6 (114). pp. 208–214. doi: <http://dx.doi.org/10.21686/2413–2829–2020–6–208–214> (in Russian).
- 3 State Standart R 56558–2015. Canned goods. Fruit drinking kissels. General specifications. Moscow, Standartinform. 8 p. (in Russian).
- 4 State Standart 18488–2000. Food concentrates for sweet dishes. General specifications. Moscow, Standartinform. 6 p. (in Russian).
- 5 TR CU 029/2012. Safety requirements for food additives, flavorings and processing aids. Eurasian Economic Commission. Minsk: Gosstandart: BelGISS, 2014. 272 p. (in Russian).
- 6 Morozova S.S., Bakumenko O.E., Tarasova V.V. Development of recipes for food concentrates of jelly using sugar substitutes and intense sweeteners. *Food industry*. 2020. no. 6. pp. 13–18. doi: 10.24411/0235–2486–2020–10058 (in Russian).
- 7 Yashin A.N., Agarkova E. Yu. Kissel with a low glycemic index. Russian market review. // *Collection of materials of the Poland Readings of the VI international scientific and practical youth conference "Food Technologies of the Future"* (June 5, 2024). / FGANU Research Institute of Chemical Food. M.: OOO "Bely Veter". 2024. pp. 159–166. (in Russian).
- 8 Sperl R., Carle R., Müller-Maatsch J., Gebhardt B. Assessing the sustainability of natural and artificial food colorants. *Journal of Cleaner Production*. 2020. vol. 260. pp. 120884. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120884
- 9 Malaarachchi Ch., Rajanayake R.M., Amaradivakara, W.A.A.V.S. Development of a Qualitative and Quantitative Method for Determination of Artificial Food Colourants in Carbonated Beverages // *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*. 2018. doi: 10.15680/IJRSET.2018.0707017
- 10 Khalzova S.A., Zyablov A.N. Determination of azo dyes in soft drinks by TLC // *Sorption and chromatographic processes*. 2022. vol. 22. no. 3. pp. 252–260. doi: <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/9332> (in Russian).
- 11 Xaydarova M.A., Kodirov Z. Effective methods for identifying synthetic dyes in soft drinks // *Universon: technical sciences: electronic scientific journal*. 2024. 2(119). URL: <https://7universon.com/ru/tech/archive/item/16920>
- 12 Sannikova N. Yu., Korenman Ya. I., Sukhanov P.T. The Method for identification of synthetic food colors. Patent RF, no 2398217, 2010. (in Russian).
- 13 Drall K.M., Field C.J., Haqq A.M., de Souza, R. J. et. al. Vitamin D supplementation in pregnancy and early infancy in relation to gut microbiota composition and *C. difficile* colonization: implications for viral respiratory infections. *Gut Microbes*. 2020. vol. 12 (1). pp. 1799734. doi: 10.1080/19490976.2020.1799734
- 14 Ugur H., Catak J., Mirzak O.F., V. et. al. Determination and evaluation of in vitro bioaccessibility of added vitamin C in commercially available fruit-, vegetable-, and cerealbased baby foods. *Food Chemistry*. 2020. vol. 330. no. 15. pp. 127166 doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127166
- 15 Golli El. N., Elbini I., Jrad A., Boudali I. et. al. Toxicity Induced after Subchronic Administration of the Synthetic Food Dye Tartrazine in Adult Rats, Role of Oxidative Stress. *Recent Advances in Biology and Medicine*. 2016. no 06. pp. 20–28. doi: 10.18639/RABM.2016.02.284474
- 16 Morozov V.N., Luzin V.I. Effect of 60-day administration of tartrazine and the creation of a defect in the tibia on the histological structure and morphometric parameters of the thyroid gland in rats. *Astrakhan Medical Journal*. 2023. vol. 18, no. 4. pp. 58–66. doi: 10.17021/1992–6499–2023–4–58–66 (in Russian).

17 Akhaltseva L.V., Yurchenko V.V., Yurtseva N.A., Konyashkina M.A. Evaluation of the genotoxicity of the food dye Sunset Yellow in an in vivo micronucleus test. Hygiene and Sanitation. 2022; 101(9): pp. 1093–1097. doi: 10.47470/0016–9900–2022–101–9–1093–1097 (in Russian).

18 Rajapaksha, G.K.M., Wansapala, M.A.J., Silva A.B.G. Detection of Synthetic Colours in Selected Foods & Beverages Available in Colombo District, Sri Lanka. International Journal of Science and Research. 2017. vol. 6. no. 5. pp. 801–808. doi: 10.21275/ART20173280

19 Floriano L., Ribeiro L.C., Saibt N., Bandeira N.M.G. et. al. Determination of Six Synthetic Dyes in Sports Drinks by Dispersive Solid-Phase Extraction and HPLC-UV-Vis. J. Braz. Chem. Soc. 2018. Vol. 29. no. 3. pp. 602-608. doi: 10.21577/0103–5053.20170173

20 Andrade F.I., Guedes M.I.F., Vieira I.G.P., Mendes F.N.P. et. al. Determination of synthetic food dyes in commercial soft drinks by TLC and ion-pair HPLC. Food Chemistry. 2014. Vol. 157. pp. 193–198. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.100

#### Сведения об авторах

**Надежда А. Коломейцева** аспирант, кафедра технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Воронежский аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, Россия, k-nadya2704@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5549-6619>

**Ирина А. Глотова** д.т.н., профессор, кафедра технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Воронежский аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, glotova-irina@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9991-1183>

**Анна А. Дерканосова** д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, aa-derk@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

**Алла Е. Куцова** к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, alla-toporkova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5778-6150>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Nadezhda A. Kolomeytseva** graduate student, technology of storage and processing of agri-cultural products department, Voronezh Agrarian University named after Emperor Peter I, Michurin St., 1, Voronezh, 394087, k-nadya2704@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5549-6619>

**Irina A. Glotova** Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of storage and processing of agri-cultural products department, Voronezh Agrarian University named after Emperor Peter I, Michurin St., 1, Voronezh, 394087, glotova-irina@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9991-1183>

**Anna A. Derkanosova** Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, aa-derk@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

**Alla E. Kutsova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, alla-toporkova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5778-6150>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                             |                                       |                                    |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Поступила</b> 22/10/2024 | <b>После редакции</b> 07/11/2024      | <b>Принята в печать</b> 29/11/2024 |
| <b>Received</b> 22/10/2024  | <b>Accepted in revised</b> 07/11/2024 | <b>Accepted</b> 29/11/2024         |

## Обзор способов извлечения биологически активных соединений из продуктов переработки льняного семени

|                       |              |                                                                          |                                                                                                         |
|-----------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Айслу А. Мижева       | <sup>1</sup> | <a href="mailto:mizheva.aislu@mail.ru">mizheva.aislu@mail.ru</a>         |  0000-0003-0847-0819 |
| Иван А. Фоменко       | <sup>1</sup> | <a href="mailto:fomenkoia@mgupp.ru">fomenkoia@mgupp.ru</a>               |  0000-0003-2478-1705 |
| Александра И. Карачун | <sup>1</sup> | <a href="mailto:alexandra155@mail.ru">alexandra155@mail.ru</a>           |  0009-0001-2137-762X |
| Вероника В. Краснова  | <sup>1</sup> | <a href="mailto:krasnovvamoonnica@mail.ru">krasnovvamoonnica@mail.ru</a> |  0009-0004-1499-4429 |

<sup>1</sup> Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия

**Аннотация.** В данном аналитическом обзоре рассматриваются современные методы извлечения биологически активных веществ из жмыха льна, который является побочным продуктом переработки льняного семени. Обзор включает этапы получения биоактивных компонентов, усредненный химический состав жмыха, а также функциональные свойства получаемых ингредиентов. В статье подробно рассмотрены различные подходы к экстракции ценных компонентов, включая традиционные методы, такие как механическое прессование, и современные технологии, включая ультразвуковую экстракцию, сверхкритическую CO<sub>2</sub>-экстракцию и субкритическую жидкостную экстракцию. Также акцент сделан на сравнении эффективности этих методов, их экономической целесообразности и экологической безопасности. Одним из центральных аспектов исследования является проблема наличия антипитательных веществ, таких как фитиновая кислота и цианогенные гликозиды, в составе льняного сырья. Рассмотрены эффективные методы их удаления, включая термическую и ферментативную обработку, а также их влияние на биологическую доступность и функциональные свойства льняных компонентов. Это делает льняной жмых более ценным источником питательных веществ, подходящим для использования в пищевой промышленности. Особый акцент сделан на питательных компонентах льна, включая белки, жирные кислоты, витамины и минералы, а также на их применении в функциональных продуктах питания. Обсуждаются перспективы использования льняного сырья в производстве продуктов для здорового питания и технологий, направленных на повышение их эффективности и экологичности. Данный обзор предоставляет полезную информацию для исследователей и специалистов в области пищевой науки и технологии, а также для производителей, заинтересованных в использовании льняного жмыха как источника функциональных ингредиентов.

**Ключевые слова:** лен, гидролизаты, антипитательные вещества, изолят, экстракция, жмых льна.

## Review of methods for extracting biologically active compounds from flaxseed processing products

|                        |              |                                                                          |                                                                                                           |
|------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aislu A. Mizheva       | <sup>1</sup> | <a href="mailto:mizheva.aislu@mail.ru">mizheva.aislu@mail.ru</a>         |  0000-0003-0847-0819 |
| Ivan A. Fomenko        | <sup>1</sup> | <a href="mailto:fomenkoia@mgupp.ru">fomenkoia@mgupp.ru</a>               |  0000-0003-2478-1705 |
| Aleksandra I. Karachun | <sup>1</sup> | <a href="mailto:alexandra155@mail.ru">alexandra155@mail.ru</a>           |  0009-0001-2137-762X |
| Veronika V. Krasnova   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:krasnovvamoonnica@mail.ru">krasnovvamoonnica@mail.ru</a> |  0009-0004-1499-4429 |

<sup>1</sup> Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia

**Abstract.** This analytical review examines modern methods of extracting biologically active substances from flaxseed meal, which is a by-product of flaxseed processing. The review includes the stages of obtaining bioactive components, the average chemical composition of flaxseed meal, as well as the functional properties of the resulting ingredients. The article provides a detailed analysis of various approaches to extracting valuable components, including traditional methods such as mechanical pressing, and modern technologies such as ultrasonic extraction, supercritical CO<sub>2</sub> extraction, and subcritical liquid extraction. Emphasis is also placed on comparing the efficiency of these methods, their economic feasibility, and environmental safety. One of the central aspects of the study is the problem of the presence of antinutritional substances, such as phytic acid and cyanogenic glycosides, in flaxseed raw material. Effective methods for their removal, including thermal and enzymatic treatment, are discussed, along with their impact on the bioavailability and functional properties of flaxseed components. These treatments make flaxseed meal a more valuable source of nutrients suitable for use in the food industry. Particular attention is paid to the nutritional components of flaxseed, including proteins, fatty acids, vitamins, and minerals, as well as their application in functional food products. The prospects for using flaxseed raw materials in the production of healthy food products and technologies aimed at improving their efficiency and environmental sustainability are also discussed. This review provides valuable information for researchers and specialists in the field of food science and technology, as well as for manufacturers interested in utilizing flaxseed meal as a source of functional ingredients.

**Keywords:** flax, hydrolysates, anti-nutrients, isolate, extraction, flax cake.

### Введение

Тенденция к правильному и функциональному питанию населения в настоящее время приобретает все большую популярность. Разработка продуктов, обогащенных ценными для здоровья элементами, является основной задачей здоровьесбережения населения.

Масличные культуры играют важную роль в обеспечении общества продовольствием, кормами для скота, сырьем для промышленности и имеют большое значение для экономически стабильного сельскохозяйственного производства.

Лен – это одно из самых древних культурных растений, которое имеет огромное значение для человека. Он используется в различных отраслях промышленности, включая текстильную, пищевую

Для цитирования

Мижева А.А., Фоменко И.А., Карачун А.И., Краснова В.В. Обзор способов извлечения биологически активных соединений из продуктов переработки льняного семени // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 40–51. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-40-51

For citation

Mizheva A.A., Fomenko I.A., Karachun A.I., Krasnova V.V. Review of methods for extracting biologically active compounds from flaxseed processing products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 40–51. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-40-51

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

и косметическую. В пищевой промышленности используются как сами семена льна, так и основной продукт переработки – льняное масло. Однако благодаря тому, что лен в составе содержит помимо липидов еще и белки, макро-микроэлементы, полисахариды и другие немаловажные компоненты, его ценность, как источника питательных веществ для персонализированного и функционального питания возрастает. Потенциальным источником данных веществ служит льняной шрот – побочный продукт получения масла из льняных семян.

Данный обзор посвящен современным методам извлечения биологически активных веществ льна, этапам их получения, приведен средний химический состав, описаны функциональные свойства, а также рассмотрены методы снижения содержания антипитательных веществ льна.

### Обзор мирового рынка льна масличного

Мировое производство семян масличного льна на протяжении 10 лет возросло более чем на 50%, однако доля в общем количестве выращиваемых масличных культур остается на уровне не превышающим 1%. Лидерами среди масличных культур долгое время остаются соевые бобы, рапс и подсолнечник [1].

**Источники ссылки не найден.].**

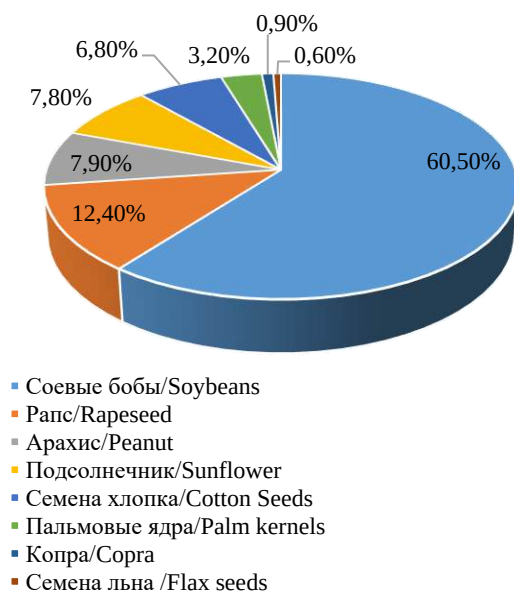


Рисунок 1. Структура мирового производства масличных культур [1]

Figure 1. Structure of global oilseed crop production [1]

Выращиванием льна занимается более сорока стран, однако в связи с падением валовых сборов этой культуры в других странах показатели РФ и Казахстана активно росли. В 2022 году первенство по сбору льна заняла Россия, на втором месте Казахстан. На долю этих двух государств приходится 56% мировых валовых сборов этой культуры.

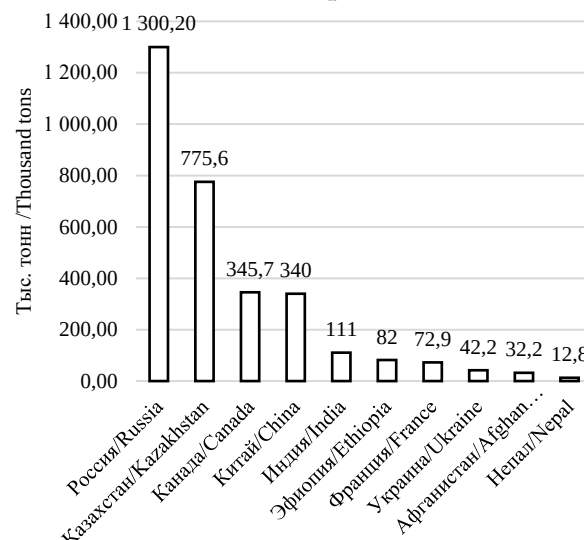


Рисунок 2. Крупнейшие страны – производители льна масличного

Figure 2. Leading countries in flaxseed production

### Ключевые тенденции Российского рынка масличного льна и продуктов переработки

Первым фактором, который характеризует рынок масличного льна в России, является существенное расширение посевных площадей. Тенденция к росту наблюдается в течение всего анализируемого периода, однако присутствуют и небольшие провалы. Особенно ощутимо наблюдается расширение посевных площадей в 2021 и 2022 годах, однако в 2022 году посевные площади увеличились на 33,6% в сравнении с 2021 годом и достигли отметки 2090 тыс. га [1].

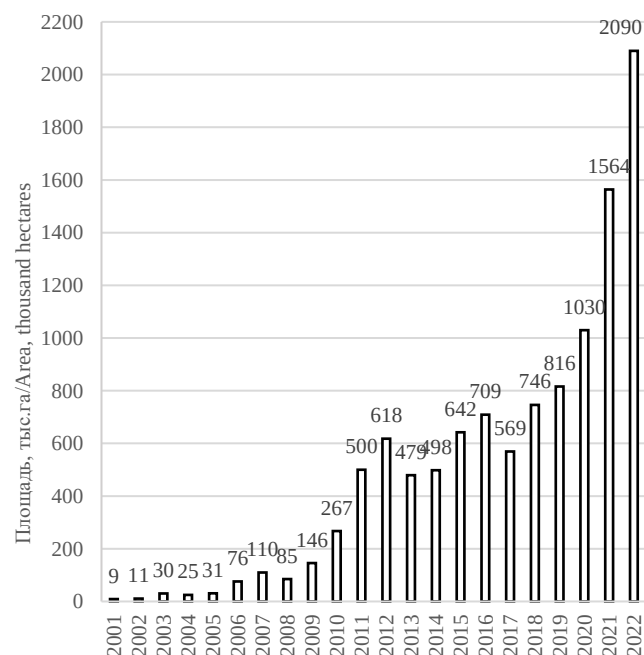


Рисунок 3. Посевные площади льна масличного в России в период с 2001 по 2022 гг., тыс. га [1]

Figure 3. Sown areas of flaxseed in Russia from 2001 to 2022, thousand hectares [1]

Однако, показатель урожайности льна масличного в период 2007–2022 гг., характеризуется как весьма непостоянный и стабильности за анализируемый период не показывает. Урожайность льна за 2022 год ниже, чем за предыдущий на 1,2%.

В 2022 году на долю крупнейших производителей из числа регионов России пришлось свыше 50% от общего объема сборов. К ним относятся: Алтайский край, Омская область, Курганская область, Ростовская и Новосибирская области. Ставропольский край, Республика Крым,

Челябинская область, Республика Башкортостан и Самарская область характеризуются достаточно высокими показателями сбора льна масличного, но уступают лидирующей пятерке.

Объемы производства льняного масла в 2022 году остаются на довольно высоком уровне и составляет 35,2 тыс. тонн.

До 2019 года побочные продукты переработки семян льна масличного не имели успеха в качестве экспортируемой продукции, однако, в 2021 году объемы экспорта достигли 32,8 тыс. тонн, но в 2022 году показатели снизились [1].

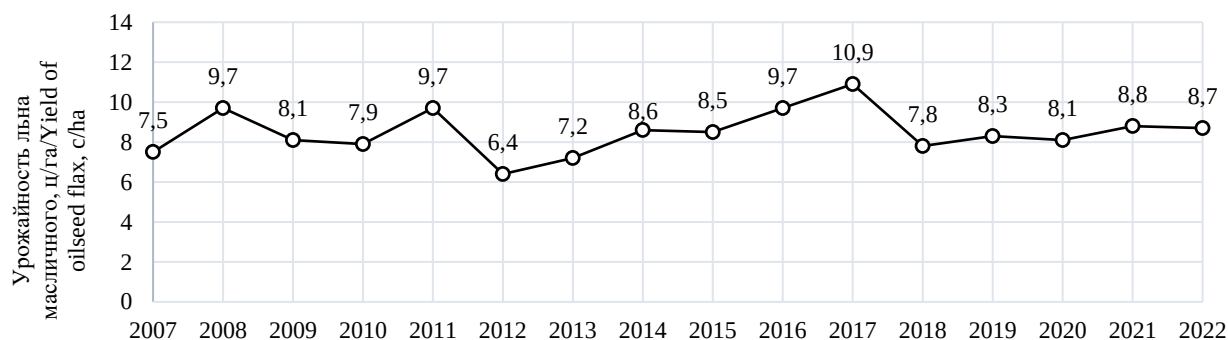


Рисунок 4. Урожайность льна масличного в период с 2007 по 2022 гг. ц/га

Figure 4. Flaxseed yield from 2007 to 2022, centners per hectare

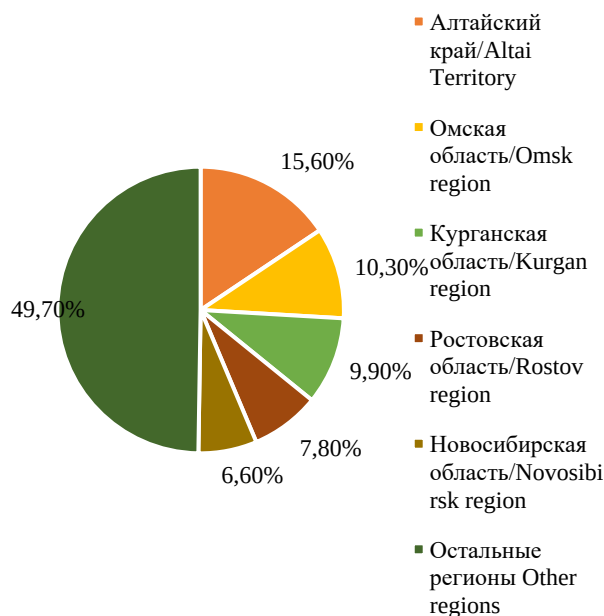


Рисунок 5. Доля регионов РФ в общем объеме валовых сборов льна масличного в 2022 г. [1]

Figure 5. Share of Russian regions in the total flaxseed harvest volume in 2022 [1]

### Характеристика льняного семени

Лен обыкновенный (*Linum usitatissimum* L.) – однолетняя масличная культура, выращиваемая для получения масла, клетчатки. В современном мире лен приобрел свою значимость из-за содержания питательных веществ,

благодаря которым его можно использовать в конструировании рецептур функциональных продуктов питания, пищевых добавок, косметической отрасли [5,6]. Компоненты льняного семени способствуют облегчению симптомов многих заболеваний человека, регуляции кишечной микрофлоры, а белки и пептиды обладают рядом полезных свойств [4].

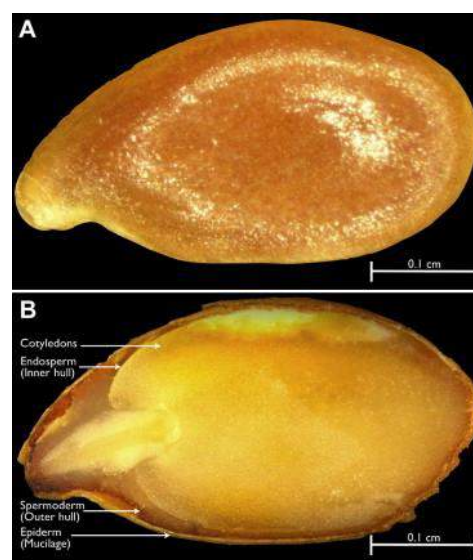


Рисунок 6. Анатомические структуры льняного семени, полученные цифровой камерой Canon Eos 300D, установленной на световом микроскопе Zeiss Stemi SV 11

Figure 6. Anatomical structures of flaxseed captured using a Canon EOS 300D digital camera mounted on a Zeiss Stemi SV 11 light microscope

Анатомически льняное семя состоит из трех основных частей: зародыша, двух семядолей и оболочки, состоящей из двух слоев толстого и тонкого. Масляные тела, называемые олеосомами, находятся в эндосперме и семядолях [2]. Зрелое льняное семя продолговатое и сплюснутое 4–6 мм в длину, средний вес около 5 мг. Семена на вид гладкие и блестящие, цвет варьируется от коричневого до светло-желтого, в зависимости от сорта [3,4].

Биохимический состав льняного семени представлен 30–41% жира, 25–30% пищевых волокон, 20–30% белка, 4–8% влаги, 3–4% золы, а также 1% олигосахаридов [3]. Льняное семя содержит 20% растворимых волокон и 9% нерастворимых, которые присутствуют в оболочке. Растворимые волокна состоят из кислых полисахаридов (l-рамнозы – 5,3%, l-галактозы – 11,7%, l-фруктозы – 8,4% и d-ксилозы – 29,1%) и нейтральных полисахаридов (l-арабинозы – 20% и d-ксилозы-d-галактозы – 76%). Нерастворимые волокна преимущественно состоят из целлюлозы и лигнина [2]. Расхождения в химическом составе семени в основном вызваны различиями в сортах, времени сбора урожая, местом произрастания, а также методами анализов и их обработкой [3].

Оболочка льняного семени является богатым источником лигнанового фитоэстрогена – секоизолярицирезинол диглюкозида (СДГ). Лигнановый комплекс, выделенный из льняного семени, состоит из 34–38% СДГ, 15–21%

глюкозида коричной кислоты и 9,6–11% гидроксиметилглутаровой кислоты.

### Льняное масло

Среди всех представленных на рынке растительных масел льняное имеет достаточно высокое содержание ненасыщенных жирных кислот (более 70%), которые представлены в основном  $\alpha$ -линолевой кислотой (ALA) – 30–50%, олеиновой и линолевой. В процессе метаболизма из ALA синтезируются докозагексаеновая и эйкоза-пентаеновая кислоты, необходимые для роста, развития и поддержания нормальных физиологических функций организма. Биодоступность  $\alpha$ -линолевой кислотой в масле выше, чем в семенах [3].

Также, в состав липидов входит небольшое количество насыщенных жирных кислот, в первую очередь пальмитиновая кислота (около 5%) и стеариновая кислота (около 3%). Липидная фракция также содержит небольшую долю витаминов группы E такие, как лютеин (пигменты и токотриенол), стерин и каротиноиды производные группы токоферола [3].

Кроме положительных аспектов существует и негативная сторона, которая выражается в очень быстром окислении липидов при хранении и переработке.

Существует несколько способов извлечения масла из семян льна.

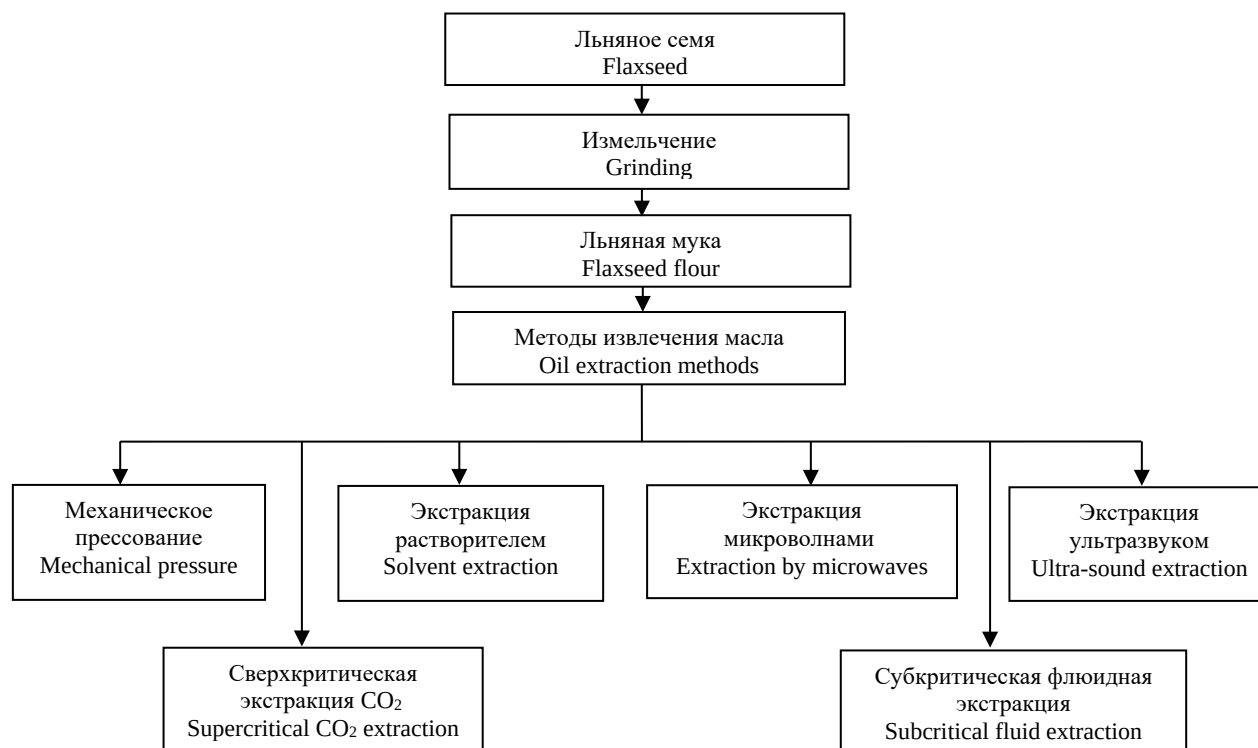


Рисунок 7. Методы извлечения льняного масла [7]

Figure 7. Methods of flaxseed oil extraction [7]

Традиционным методом извлечения масла является механическое холодное прессование. Перед прессованием льняное семя подвергается очистке от примесей для максимально возможного извлечения масла. Очищенное сырье загружается в маслоотделитель или механический шнековый пресс, где измельчаются семена и выделяется масло. Остаточный побочный продукт – льняной жмых. Далее масло подвергается фильтрации. Основными преимуществами данного метода являются: низкая себестоимость оборудования и энергопотребления, высококачественное и готовое к употреблению масло, отсутствие органических растворителей [8], а недостатки выражаются в довольно низком содержании в масле витаминов, фосфолипидов, фитостеролов, антиоксидантов и в высоком проценте остаточного масла в жмыхе, порядка 9–15%.

Экстракция растворителем повышает скорость экстракции и выход масла до 99% [9]. Однако, этот метод не нашел применения в промышленности, поскольку существуют опасения при использовании органических растворителей и их влияния на безопасность пищевых продуктов, длительное время экстракции, а также утилизация большого объема органических растворителей потенциально опасных для человека и окружающей среды. [8]. Этот метод используется для лабораторных исследований.

В последние годы особый интерес представляют экстракция микроволнами и ультразвуком, сверхкритическая CO<sub>2</sub> экстракция и субкритическая флюидная экстракция.

Жидкостная CO<sub>2</sub> экстракция, как экологически чистый метод экстракции, широко используется в производстве продуктов с высокой добавленной стоимостью. Некоторые исследователи обнаружили, что льняное масло, экстрагированное этим способом имело более высокое содержание  $\omega$ -3 и  $\omega$ -6 жирных кислот, фенолов и лигнанов, а выход был примерно на 27% выше, чем при механическом прессовании. [10].

Микроволновая и ультразвуковая экстракции сочетают в себе преимущества экстракции растворителем и физические воздействия (механическое воздействие, термический эффект и т. д.). Преимущества этих методов заключается в сокращении времени экстракции, снижении расхода растворителя, уменьшении термического повреждения масла и потере биоактивных соединений. Оба метода могут значительно повысить выход и антиоксидантная активность ПНЖК [11].

Экстракция с помощью ультразвука более подходящий метод для крупномасштабного производства и обладает лучшим потенциалом разработки и применения, она может значительно увеличить выход льняного масла на 11,5% и степень извлечения ПНЖК на 68,12%. Однако,

оба способа требуют доработки, замены или полного исключения использования органических растворителей.

Технология субкритической жидкостной экстракции заключается в использовании двухфазной замены экстракционной жидкости (такой как пропан и бутан) при различных давлениях и температурах для процесса экстракции масла и удаления растворителя. Этот многообещающий метод обладает преимуществами высокой производительности, низких требований к давлению и температуре, а также прост в промышленной реализации [7].

Каждый из вышеописанных методов, имеет свои технологические, экономические и экологические преимущества и недостатки, а также влияние на конечный жирнокислотный состав полученного после экстракции масла.

### Углеводы

Льняное семя содержит в своём составе около 1% углеводов. Полисахариды из льняного семени состоят из двух основных компонентов: арабиноксилана и рамногалатоторана. Рамногалатоторан представляет собой кислый полисахарид, в состав которого входят L-фруктоза, L-рамноза, D-ксилоза и L-галактоза и составляющий около 25% полисахаридов льняного семени. Арабиноксилан – нейтрален и состоит из арабинозы, галактозы и ксилозы и составляет 75% полисахаридов [12].

Существует несколько способов извлечения полисахаридного комплекса из льняного семени. Очень важным нюансом является предварительная экстракция льняного масла, что позволяет в образовавшемся жмыхе льна выделять не только полисахаридный комплекс, но и другие высокоценные пищевые ингредиенты [13].

Твердожидкостная экстракция является самым простым методом выделения биологически активных углеводов и включает массоперенос растворенных частиц из твердой массы в растворитель. Замачивание цельных семян льна или обезжиренного жмыха ведется в горячей воде, далее полученный вязкий экстракт подвергается осаждению органическими веществами или ультрафильтрации с последующей лиофильной сушкой [14]. Преимуществом данного способа является высокий выход полисахаридного комплекса при низких затратах на его получение.

Экстракция под давлением, основанная на принципе Сокслета, включает в себя процесс массопереноса соединений из твердой фракции в органический растворитель при высоком давлении и температуре, что значительно ускоряет процесс [15]. Недостатком метода являются затраты на проведение, а также, как и при первом способе нет селективного разделения полисахаридного комплекса.

Метод сверхкритической экстракции CO<sub>2</sub> позволяет осуществлять селективное извлечение углеводов, однако, необходимо вводить органические модификаторы, что нежелательно для извлечения биоактивных углеводов [16,17]. Процесс возобновляемый и с точки зрения сохранения окружающей среды – безопасным.

Подкритическая жидкостная экстракция-адаптация метода экстракции по Сокслету. В качестве растворителя здесь используется вода. При повышенном давлении и нагревании вода становится менее полярной, благодаря чему возможно избирательное извлечение углеводов на основе их растворимости при различной полярности воды [18]. Этот процесс не требует введения модификаторов, таких как scCO<sub>2</sub> или органических растворителей и поэтому больше подходит для извлечения углеводов из пищевых экстрактов. [18,19].

Ионные жидкости и натуральные эвтектические растворители глубокого действия представляют собой альтернативу использованию воды и замену органических растворителей при экстракции углеводов. В отличие от описанных ранее методов, данные способы являются экономически эффективной альтернативой, которая относительно нетоксична и проста в приготовлении.

Метод экстракции ионными жидкостями может использоваться для выделения моносахаридов и полисахаридов, позволяет изменять полярность и свойства растворителя для определенного вида углеводов.

Натуральные эвтектические растворители глубокого действия не только безопаснее ионных жидкостей, но и дешевле. Однако, требуются дополнительные исследования для определения токсичности полученных при помощи данного метода углеводов. Оба способа пока еще не нашли широкого применения в промышленности [17].

### Белок льняного семени

В составе льняного семени содержится около 21% белка, в который входит большое количество глутаминовой кислоты, метионина, аргинина, цистеина, аспарагиновой кислоты, однако беден треонином, лизином и тирозином. Условия обработки существенно влияют на конечный выход белка. Белок не является сбалансированным, ввиду низкого содержания незаменимой аминокислоты лизина и других, однако, его использование возможно, благодаря получению биологически активных пептидов и их потенциальному применению [4].

Усвояемость белков льняного семени зависит от присутствия сопутствующих компонентов. Удаление липидов и полисахаридов повышает усвояемость и повышают биологическую ценность белка.

Исследователями выявлено положительные свойства белка льняного семени, такие как противогрибковые, антиоксидантные свойства некоторых составляющих аминокислот, а также биологически активные свойства гидролизатов [20].

Белки льняного семени делятся на три фракции: альбумины, глобулины и глобулины. Перед использованием их в пищевой промышленности необходимо провести процесс извлечения белка, с целью повышения их усвояемости, улучшения функционально-технологических свойств, вкуса, запаха, цвета, а также снижения уровня антипитательных веществ [19].

Существует ряд способов извлечения белка из льняного семени, как традиционных, так и более усовершенствованных и технологичных.

Осаждение белка в изoeлектрической точке является одним из распространенных традиционных методов извлечения белка, при котором варьируется значение pH для достижения изoeлектрической точки, в которой белок выпадает в осадок. Недостатками данного способа является денатурация белка минеральными кислотами, потенциальной потерей некоторых функционально-технологических свойств, снижение питательных веществ и повышение содержания фитиновой кислоты.

Экстракция с использованием ферментных препаратов представляет собой способ обработки обезжиренной льняной муки протеазами. Частичный гидролиз благоприятно влияет на дальнейшие функционально-технологические свойства выделенного белка, прост в исполнении, контроле и проводится в щадящих условиях и дает возможность выделения конъюгированных белков. Отрицательным фактором является увеличение стоимости технологии. Данный метод более экологичен, приемлем для использования выделенного белка в пищевых продуктах.

Мицеллизация или высаливание – метод, при котором удаляются небелковые компоненты, а сам белок при различных концентрациях соли выпадает в осадок. Преимуществом является минимальное содержание в белке фитиновой кислоты и пентозанов [19].

Метод предварительной кислотной обработки с последующей ультрафильтрацией предполагает обработку кислотой, выдерживание при умеренном перемешивании и отделение осадка центрифугированием. Процесс с осадком повторяют несколько раз. Белковые экстракты объединяют и отправляют на ультрафильтрацию. Полученный ретентат высушивают распылительной сушкой для получения белка льняного семени. Преимуществами ультрафильтрации является улучшение функциональных и питательных свойств экстрагированного белка.

К другим современным методам относятся: экстракция ультразвуком, электроактивация, метод импульсного электрического поля, экстракция водой под давлением низкой полярности, использование электрического разряда высокого напряжения. Обязательной процедурой перед началом экстракции белка является обезжиривание, удаление полисахаридов, измельчение льняного семени [19].

### Пептиды льняного семени

Белок льняного семени является источником биологически активных пептидов. Обнаружены двадцать пять циклических пептидов, последовательность которых расшифрована, и биологическая активность в них обнаружена. Циклолинопептид А, структура которого представлена следующей последовательностью аминокислот цикло-(Про-Про-Фен-Фен-Лей-Иле-Иле-Лей-Вал) и его производные обладают противомаларийной активностью, иммуносупрессивной, а также активностью по дифференцировке остеокластов. На рисунке 8 представлены структуры некоторых гидролизатов и пептидов белка льняного семени.

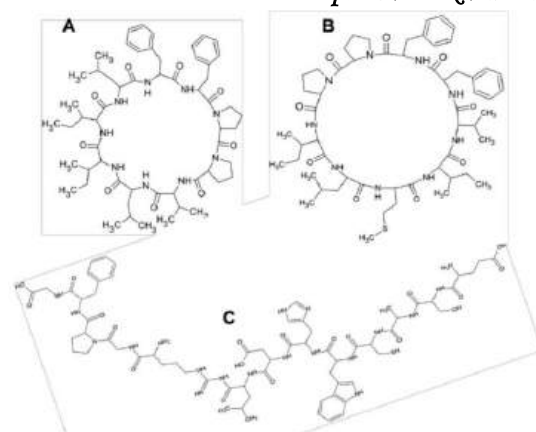


Рисунок 8. Химические структуры пептидов белка льняного семени: (А) Циклолинопептид-А; (В) Циклолинопептид-В; (С) антиоксидантный пептид, полученный, гидролизом белка алкалазой [19]

Figure 8. Chemical structures of flaxseed protein peptides: (A) Cyclolinopeptide A; (B) Cyclolinopeptide B; (C) Antioxidant peptide obtained by alcalase protein hydrolysis [19]

В таблице 1 представлены некоторые биологически активные пептиды и гидролизаты белка льна, способы получения, молекулярная масса и их активность.

Характеристика некоторых пептидов льняного белка

Таблица 1.

Table 1.

Characteristics of some flaxseed protein peptides

| Тип<br>Type                 | Молекулярная масса/<br>первичная<br>последовательность<br>Molecular weight/primary<br>sequence                               | Способ получения<br>Method of obtaining                                                                                                   | Биологические свойства<br>Biological properties                                                        | Источник<br>Source |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1                           | 2                                                                                                                            | 3                                                                                                                                         | 4                                                                                                      | 5                  |
| Пептид<br>Peptide           | Гли-Фен-Про-Гли-Арг-<br>Лей-Асп-Гис-Три-Цис-<br>Ала-Сер-Глу<br>Gly-Phe-Pro- Gly -Arg-<br>Leu-Asp-His-Trp-Cys-Ala-<br>Ser-Glu | Гидролиз ферментом<br>алкалазой<br>Hydrolysis by the enzyme<br>alcalase                                                                   | Антиоксидантная активность<br>Antioxidant activity                                                     | [21]               |
| Гидролизат<br>Hydrolysate   | Менее 1 кДа<br>Less than 1 kDa                                                                                               | Гидролиз протеазой<br>из <i>Bacillus</i><br><i>altitudinis</i> HK02<br>Hydrolysis by protease<br>from <i>Bacillus altitudinis</i><br>HK02 | Антимикробная активность<br>Antimicrobial activity                                                     | [22]               |
| Гидролизат<br>Hydrolysate   | 1–3 кДа<br>1–3 kDa                                                                                                           | Гидролиз протеазой из<br><i>Bacillus altitudinis</i> HK02<br>Hydrolysis by protease<br>from <i>Bacillus altitudinis</i><br>HK02           | Антиоксидантная активность<br>Antioxidant activity                                                     | [21]               |
| Гидролизат /<br>Hydrolysate | Менее 4 кДа<br>Less than 4 kDa                                                                                               | Гидролиз термолизином<br>и проназой<br>Hydrolysis by thermolysin<br>and pronase                                                           | Антиоксидантная;<br>Антигипертензивная активность<br>Antioxidant; Antihypertensive activity            | [23]               |
| Гидролизат /<br>Hydrolysate | Менее 1 и 1–3 кДа<br>Less than 1 and 1–3 kDa                                                                                 | Гидролиз термоазой<br>и мембранная<br>ультрафильтрация<br>Thermose hydrolysis and<br>membrane ultrafiltration                             | Антигипертензивная,<br>Ренин-ингибирующая активность<br>Antihypertensive,<br>Renin-inhibiting activity | [23]               |

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1

| 1                                            | 2                                                                                          | 3                        | 4                                                                                                                                                       | 5       |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Циклолино-пептид -А<br>Cycloline peptide - A | цикло-(Про-Про-Фен-Фен-Лей-Иле-Иле-Лей-Вал)<br>cyclo-(Pro-Pro-Phe-Phe-Leu-Ile-Ile-Leu-Val) | Экстракция<br>Extraction | Иммуносупрессивная активность;<br>Антиоксидантная;<br>Противомаларийная активность<br>Immunosuppressive activity; Antioxidant;<br>Antimalarial activity | [24,25] |
| Циклолино-пептид -В<br>Cycloline peptide - B | цикло-(Про-Про-Фен-Фен-Вал-Иле-Мет-Лей-Иле)<br>cyclo-(Pro-Pro-Phe-Phe-Val-Ile-Met-Leu-Ile) | Экстракция<br>Extraction | Иммуносупрессивная активность<br>Immunosuppressive activity                                                                                             | [24]    |
| Циклолино-пептид -Е<br>Cyclolinopeptide – E  | цикло-(Про-Лей-Фен-Иле-Мет-Лей-Вал-Фен)<br>cyclo-(Pro-Leu-Phe-Ile-Met-Leu-Val-Phe)         | Экстракция<br>Extraction | Иммуносупрессивная активность<br>Immunosuppressive activity                                                                                             | [25]    |

### Витамины и минералы льняного семени

Кроме описанных выше питательных веществ, льняное семя является источником микроэлементов, таких как витамины, минералы и фенольные соединения. Витамины представлены тремя формами токоферола и ниацинами, около 0,039% витамина Е, влияние которых на здоровье человека доказано [20]. Минералы льняного семени представлены калием (около 5,6–9,2%), кальцием (около 0,25%), магнием (около 0,40%), фосфором (около 0,65%) и небольшим количеством натрия (около 0,027%). Богатое калием льняное семя обеспечивает защиту от инсульта, способствует выведению свободных радикалов и ингибированию накопления тромбоцитов.

### Антипитательные вещества

Несмотря на большое количество положительных аспектов в составе льняного семени содержатся антипитательные вещества, ограничивающие их использование и биодоступность. В составе льняного семени обнаружены линатин, ингибиторы протеаз, фитиновые кислоты и цианогенные гликозиды, структуры которых представлены на рисунке 9.

В льняном семени обнаружены 4 типа цианогенных гликозидов: линустатин, неолинустатин, лотаустралин и линамарин. Они являются критическими антипитательными факторами, при гидролизе которых образуется цианистый водород, хроническое воздействие которого приводит к дефектам нервной, дыхательной, сердечно-сосудистой систем и щитовидной железы. Фитиновые кислоты связывают в организме минералы, препятствуя их высвобождению и нарушая работу систем организма. Антипитательные факторы необходимо снижать, чтобы усилить полезные качества льна [26].

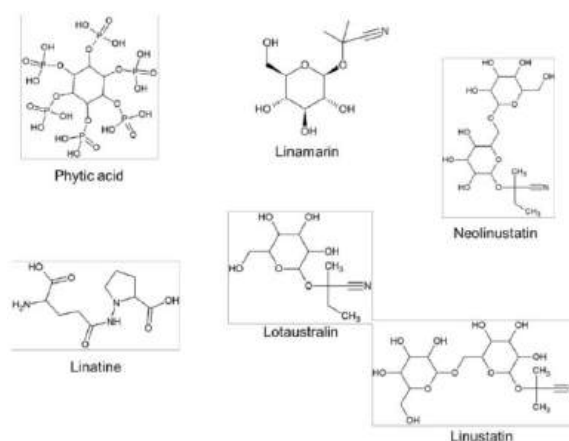


Рисунок 9. Химические структуры антипитательных веществ льняного семени: Сверху-вниз: 1 – фитиновая кислота; 2 – линамарин; 3 – неолинустатин; 4 – линатин; 5 – лотаустралин; 6 – линустатин

Figure 9. Chemical structures of flaxseed anti-nutritional compounds: Top to bottom: 1 – Phytic acid; 2 – Linamarin; 3 – Neolinustatin; 4 – Linatine; 5 – Lotaustralin; 6 – Linustatin

Существуют несколько способов удаления антинутриентов из льняного семени. Двухфазная экстракция растворителем, включающая систему алканол-аммиак-воду или гексан. Данный способ экстракции позволяет избавиться от большего числа гликозидов, однако при этом снижается содержание белка, клетчатки, жира и лигнина [19].

Термическая обработка на солнце, а также пропаривание способны снизить количество антипитательных веществ до приемлемых пределов их обнаружения. Недостатком данных методов является потеря лигнанов, жирных кислот, а также высокое потребление энергии. Термическая обработка выше 120 °С неэффективна, поскольку происходит инактивации эндогенных β-глюкозидаз, которые обладают способностью разлагать цианогены, соответственно

большое количество гликозидов так и остается в составе льняного семени. Альтернативный подход, предложенный в статье Yamashita T. предполагает измельчение семени, инкубирование при 30°C и оптимальном времени для полного разложения цианогенов с выделением цианистого водорода. Выделяющийся в суспензию цианистый водород затем выпаривался, мука высушивалась, при этом не было отрицательного воздействия на количества белка, жира, клетчатку и лигнин.

Биологическая обработка включает в себя использование коммерческих ферментных препаратов с линамаразной, ксиланазной и целлюлазной активностями. Однако Yamashita T. с соавторами доказали в своем исследовании, что льняное семя обладает низкой субстратной специфичностью при использовании аналогичных ферментных препаратов [27]. Wu C.F. и соавторы использовали методику поверхностного отклика для оптимизации процесса. Оптимизированный ими процесс включал использование 12,5% ферментов  $\beta$ -глюкозидазы и 8,9% цианидгидратазы, что позволило снизить концентрацию цианида в порошке льняного семени с 1,156 до 0,015 мг через 48 часов.

#### **Использование льняного семени и продуктов его переработки**

В настоящее время льну и продуктам переработки уделяется особое внимание с точки зрения его питательной ценности. В основном оно доступно для употребления в виде масла, цельных семян, молотого и обезжиренного шрота, так называемой льняной муки [2], которые широко используются в рецептурах хлеба, снеков, батончиков и т.д. [3].

Также среди потребителей растет спрос на белки растительного происхождения, которые являются альтернативой животным протеинам. Таким образом, льняное семя и продукты его переработки приобретают все большее значение как важный компонент рациона благодаря высокому содержанию белка, сбалансированности аминокислотного состава, липидному составу и лигнана.

Компоненты льняного семени обладают высокими функционально технологическими свойствами, такими как эмульгирующая, пенообразующая способности, вязкость. Благодаря этому свойству растительный белок, полученный из льна перспективен для использования

в рецептурах майонезов, соусов длительного хранения, заменяя яичный белок. Льняная мука в рецептурах хлебобулочных изделий положительно сказывается на реологических свойствах теста [4].

Изготавливаемый альтернативный коровьему молоку льняной напиток обладает некоторыми преимуществами, а именно высоким содержанием ALA, отсутствием холестерина, лактозы, а также простотой в изготовлении и хранении [Ошибка! Источник ссылки не найден., 28].

Одним из положительных аспектов использования льна в рецептурах пищевых продуктов является способность пролонгации срока годности некоторых пищевых продуктов, замедление роста микроорганизмов порчи. Было обнаружено, что при добавлении данного компонента в рецептуры колбасных, хлебных и мучных кондитерских изделий не только влияет на функционально технологические свойства, но и на увеличение срока хранения в зависимости от рецептуры продукта и методов его обработки [27,29].

#### **Заключение**

Льняное семя является богатой питательными веществами и функциональными пищевыми ингредиентами культурой благодаря высокому содержанию витаминов, минералов, белков, липидов, пищевых волокон и лигнанов. Пищевое применение льняного семени будет продолжать привлекать внимание как потребителей, заботящихся о своем здоровье, так и производителей продуктов питания. В связи с этим получение высококачественных ингредиентов путем биоконверсии льняного семени или путем повышения ценности побочных продуктов является очень привлекательным. Однако для изучения всего потенциала этого субстрата необходимы дальнейшие исследования, особенно в разработке промышленно и экономически обоснованных, пищевых, экологических подходов к экстракции и очистке многих функциональных пищевых ингредиентов, получаемых из льняного семени.

В целом, льняное семя является отличным растительным сырьем для производства пищевых ингредиентов, которые отвечает потребностям потребителей 21 века с точки зрения богатства питательными веществами и биологической активностью.

## Литература

- 1 Макарская Е. Ю., Кривошлыков К. М. Тенденции развития рынка масличных культур и основные меры государственной поддержки отечественной селекции в современных геополитических условиях // Масличные культуры. 2024. № 2. С. 108–113.
- 2 Shim Y.Y., Gui B., Arnison P.G., Wang Y. et al. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: a review. Trends Food Sci Technol. 2014. № 38. P. 5–20. doi: 10.1016/j.tifs.2014.03.011
- 3 Bekhit A.E.D.A., Shavandi A., Jodjaja T., Birch J. et al. Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities // Biocatalysis and agricultural biotechnology. 2018. V. 13. P. 129–152.
- 4 Mueed, A., Shibli, S., Korma, S.A., Madjirebaye, P. et al. Flaxseed Bioactive Compounds: Chemical Composition, Functional Properties, Food Applications and Health Benefits-Related Gut Microbes. Foods. 2022. № 11. P. 3307. doi:10.3390/foods11203307
- 5 Sanmartin C., Taglieri I., Venturi F., Macaluso M. et al. Flaxseed cake as a tool for the improvement of nutraceutical and sensorial features of sourdough bread // Foods. 2020. V. 9. №. 2. P. 204.
- 6 Fale S.K., Das R., Umekar M.G., Alaspure R.N. et al. A comprehensive study of herbal cosmetics prepared from flaxseed // Multidiscip. Int. Res. J. Gujarat Technol. Univ. 2022. V. 4. P. 106–112.
- 7 Yang J., Wen C., Duan Yu., Deng Q. et al. The composition, extraction, analysis, bioactivities, bioavailability and applications in food system of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil: A review // Trends in Food Science & Technology. 2021. V. 118. P. 252–260.
- 8 Bhargavi G., Nageswara Rao P., Renganathan S. Review on the Extraction Methods of Crude oil from all Generation Biofuels in last few Decades. IOP conference series: materials science and engineering. IOP Publishing. 2018. V. 330. P. 012–024.
- 9 Piva G.S., Weschenfelder T.A., Franceschi E., Cansian R.L. et al. Linseed (*Linum usitatissimum*) oil extraction using different solvents // Food technology and biotechnology. 2018. V. 56. №. 3. P. 366–372.
- 10 Tripodo G., Ibáñez E., Cifuentes A., Gilbert-López B. et al. Optimization of pressurized liquid extraction by response surface methodology of Goji berry (*Lycium barbarum* L.) phenolic bioactive compounds // Electrophoresis. 2018. V. 39. №. 13. P. 1673–1682.
- 11 Suri K., Singh B., Kaur A., Yadav M.P. et al. Influence of microwave roasting on chemical composition, oxidative stability and fatty acid composition of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil // Food chemistry. 2020. V. 326. P. 126974.
- 12 Bernacchia R., Preti R., Vinci G. Chemical composition and health benefits of flaxseed // Austin J Nutri Food Sci. 2014. V. 2. №. 8. P. 1–9.
- 13 Elboutachfati R., Delattre, C., Quéro, A., Roulard, R. et al. Fractionation and structural characterization of six purified rhamnogalacturonans type I from flaxseed mucilage // Food Hydrocolloids. 2017. V. 62. P. 273–279. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.08.005
- 14 Farrán A., Cai C., Sandoval M., Xu Y. et al. Green solvents in carbohydrate chemistry: from raw materials to fine chemicals // Chemical reviews. 2015. V. 115. №. 14. P. 6811–6853.
- 15 Савина Т. С., Скрыпник Л. Н. Оптимизация условий экстракции фенольных соединений в таволге вязолистной (*filipendula ulmaria* (L.) maxim.) // ХимБиоSeasons 2022. С. 34–34.
- 16 Todd R., Baroutian S. A techno-economic comparison of subcritical water, supercritical CO<sub>2</sub> and organic solvent extraction of bioactives from grape marc // Journal of Cleaner Production. 2017. V. 158. P. 349–358.
- 17 Radošević K., Curko N., Srcek V.G., Bubalo M. C. et al. Natural deep eutectic solvents as beneficial extractants for enhancement of plant extracts bioactivity // Lwt. 2016. V. 73. P. 45–51.
- 18 Plaza M., Turner C. Pressurized hot water extraction of bioactives // TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2015. V. 71. P. 39–54.
- 19 Dzuvor C.K.O., Taylor J.T., Acquah C., Pan S. et al. Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed // Molecules. 2018. V. 23. №. 10. P. 2444. doi:10.3390/molecules23102444
- 20 Kajla P., Sharma A., Sood D.R. Flaxseed – a potential functional food source // Journal of food science and technology. 2015. V. 52. P. 1857–1871.
- 21 Hernández-Ledesma B., Drummond e Silva F. G., Amigo L., Netto F.M. et al. Identification of peptides released from flaxseed (*Linum usitatissimum*) protein by Alcalase® hydrolysis: Antioxidant activity // Lebensmittel-Wissenschaft Technologie. 2017. V. 76. №. 1. P. 140–146. doi:10.1016/j.lwt.2016.10.049
- 22 Hwang C.F., Chen Y.A., Chen L., Chiang W.D. Antioxidant and antibacterial activities of peptide fractions from flaxseed protein hydrolysed by protease from *Bacillus altitudinis* HK02 // International Journal of Food Science & Technology. 2016. V. 51. №. 3. P. 681–689.
- 23 Nwachukwu I.D., Girgih, A.T., Malomo, S.A., Onuh, J.O. et al. Thermoase-derived flaxseed protein hydrolysates and membrane ultrafiltration peptide fractions have systolic blood pressure-lowering effects in spontaneously hypertensive rats // International Journal of Molecular Sciences. 2014. V. 15. №. 10. P. 18131–18147. doi: 10.3390/ijms151018131
- 24 Kaneda T., Yoshida H., Nakajima Y., Toishi M. et al. Cyclolinopeptides, cyclic peptides from flaxseed with osteoclast differentiation inhibitory activity // Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters. 2016. V. 26. №. 7. P. 1760–1761. doi:10.1016/j.bmcl.2016.02.040
- 25 Sharav O., Shim Y.Y., Okinyo-Owiti D.P., Sammynaiken R. et al. Effect of cyclolinopeptides on the oxidative stability of flaxseed oil // Journal of agricultural and food chemistry. 2014. V. 62. №. 1. P. 88–96. doi:10.1021/jf4037744
- 26 Bolarinwa I.F., Oke M. O., Olaniyan S. A., Ajala A. S. A review of cyanogenic glycosides in edible plants // Toxicology–New Aspects to This Scientific Conundrum. 2016. doi: 10.5772/64886
- 27 Huang C., Timothy J. T., Purdy S. K., Chicilo F. et al. Depletion of cyanogenic glycosides in whole flaxseed via Lactobacillaceae fermentation // Food Chemistry. 2023. V. 403. P. 134441.
- 28 ГОСТ Р 70650–2023 Напитки на растительной основе (из зерна, орехов, кокоса). Общие технические условия. 2023. 12 с.
- 29 Mercier S., Villeneuve S., Moresoli C., Mondor M. et al. Flaxseed-enriched cereal-based products: A review of the impact of processing conditions // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2014. V. 13. №. 4. P. 400–412.

## References

- 1 Makarskaya E. Y., Krivoslykov K. M. Trends in the development of the oilseed market and key government support measures for domestic breeding under modern geopolitical conditions // *Oilseed Crops*. 2024. no. 2 (198). pp. 108–113. (in Russian).
- 2 Shim Y. Y., Gui B., Arnison P. G., Wang Y. et al. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: a review // *Trends Food Sci Technol*. 2014. Vol. 38. pp. 5–20. doi: 10.1016/j.tifs.2014.03.011
- 3 Bekhit A.E.D.A., Shavandi A., Jodjaja T., Birch J. et al. Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2018. Vol. 13. pp. 129–152.
- 4 Mueed, A., Shibli, S., Korma, S.A., Madjirebaye, P. et al. Flaxseed Bioactive Compounds: Chemical Composition, Functional Properties, Food Applications and Health Benefits-Related Gut Microbes // *Foods*. 2022. Vol. 11. pp. 3307. doi:10.3390/foods11203307
- 5 Sanmartin C., Taglieri I., Venturi F., Macaluso M. et al. Flaxseed cake as a tool for the improvement of nutraceutical and sensorial features of sourdough bread // *Foods*. 2020. Vol. 9. no. 2. pp. 204.
- 6 Fale S.K., Das R., Umekar M.G., Alaspure R.N. et al. A comprehensive study of herbal cosmetics prepared from flaxseed // *Multidiscip. Int. Res. J. Gujarat Technol. Univ*. 2022. Vol. 4. pp. 106–112.
- 7 Yang J., Wen C., Duan Yu., Deng Q. et al. The composition, extraction, analysis, bioactivities, bioavailability and applications in food system of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil: A review // *Trends Food Sci Technol*. 2021. Vol. 118. pp. 252–260.
- 8 Bhargavi G., Nageswara Rao P., Renganathan S. Review on the Extraction Methods of Crude oil from all Generation Biofuels in last few Decades // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2018. Vol. 330. pp. 012-024.
- 9 Piva G.S. Weschenfelder T.A, Franceschi E, Cansian R.L et al. Linseed (*Linum usitatissimum*) oil extraction using different solvents // *Food Technol. Biotechnol*. 2018. Vol. 56. no. 3. pp. 366–372.
- 10 Tripodo G., Ibáñez E., Cifuentes A., Gilbert-López B. et al. Optimization of pressurized liquid extraction by response surface methodology of Goji berry (*Lycium barbarum* L.) phenolic bioactive compounds // *Electrophoresis*. 2018. Vol. 39. no. 13. pp. 1673–1682.
- 11 Suri K., Singh B., Kaur A., Yadav M.P. et al. Influence of microwave roasting on chemical composition, oxidative stability and fatty acid composition of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil // *Food Chem*. 2020. Vol. 326. pp. 126974.
- 12 Bernacchia R., Preti R., Vinci G. Chemical composition and health benefits of flaxseed // *Austin J. Nutr. Food Sci.* – 2014. Vol. 2. no. 8. pp. 1045.
- 13 Elboutachfaiti R., Delattre, C., Quéro, A., Roulard, R. et al. Fractionation and structural characterization of six purified rhamnogalacturonans type I from flaxseed mucilage // *Food Hydrocolloids*. 2017. Vol. 62. pp. 273–279. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.08.005
- 14 Farrán A., Cai C., Sandoval M., Xu Y. et al. Green solvents in carbohydrate chemistry: from raw materials to fine chemicals // *Chem. Rev*. 2015. Vol. 115. no. 14. pp. 6811–6853.
- 15 Savina T. S., Skrypnik L. N. Optimization of the extraction conditions of phenolic compounds in meadowsweet (*Filipendula ulmaria* (L.) maxim.) // *Chembioses*. 2022. pp. 34-34. (in Russian).
- 16 Todd R., Baroutian S. A techno-economic comparison of subcritical water, supercritical CO<sub>2</sub> and organic solvent extraction of bioactives from grape marc // *J. Cleaner Prod*. 2017. Vol. 158. pp. 349–358.
- 17 Radošević K., Curko N., Srcek V.G., Bubalo M. C. et al. Natural deep eutectic solvents as beneficial extractants for enhancement of plant extracts bioactivity // *LWT*. 2016. Vol. 73. pp. 45–51.
- 18 Plaza M., Turner C. Pressurized hot water extraction of bioactives // *Trends Anal. Chem*. 2015. Vol. 71. pp. 39–54.
- 19 Dzuovor C.K.O., Taylor J.T., Acquah C., Pan S. et al. Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed // *Molecules*. 2018. Vol. 23. no. 10. pp. 2444. doi:10.3390/molecules23102444
- 20 Kajla P., Sharma A., Sood D. R. Flaxseed – a potential functional food source // *J. Food Sci. Technol*. 2015. Vol. 52. pp. 1857–1871.
- 21 Hernández-Ledesma B., Drummond e Silva F. G., Amigo L., Netto F.M. et al. Identification of peptides released from flaxseed (*Linum usitatissimum*) protein by Alcalase® hydrolysis: Antioxidant activity // *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie*. 2017. Vol. 76. no. 1. pp. 140-146. doi:10.1016/j.lwt.2016.10.049
- 22 Hwang C.F., Chen Y.A., Chen L., Chiang W.D. Antioxidant and antibacterial activities of peptide fractions from flaxseed protein hydrolysed by protease from *Bacillus altitudinis* HK02 // *Int. J. Food Sci. Technol*. 2016. Vol. 51. no. 3. pp. 681–689.
- 23 Nwachukwu I.D. Girgih, A.T., Malomo, S.A., Onuh, J.O. et al. Thermoase-derived flaxseed protein hydrolysates and membrane ultrafiltration peptide fractions have systolic blood pressure-lowering effects in spontaneously hypertensive rats // *Int. J. Mol. Sci*. 2014. Vol. 15. no. 10. pp. 18131–18147. doi: 10.3390/ijms151018131
- 24 Kaneda T., Yoshida H., Nakajima Y., Toishi M. et al. Cyclolinopeptides, cyclic peptides from flaxseed with osteoclast differentiation inhibitory activity // *Bioorg. Med. Chem. Lett*. 2016. Vol. 26. no. 7. pp. 1760–1761. doi:10.1016/j.bmcl.2016.02.040
- 25 Sharav O., Shim Y.Y., Okinyo-Owiti D.P., Sammynaiken R. et al. Effect of cyclolinopeptides on the oxidative stability of flaxseed oil // *J. Agric. Food Chem*. 2014. Vol. 62. no. 1. pp. 88–96. doi:10.1021/jf4037744
- 26 Bolarinwa I.F., Oke M. O., Olaniyan S. A., Ajala A. S. A review of cyanogenic glycosides in edible plants // *Toxicology – New Aspects to This Scientific Conundrum*. 2016. doi:10.5772/64886
- 27 Huang C., Timothy J. T., Purdy S. K., Chicilo F. et al. Depletion of cyanogenic glycosides in whole flaxseed via *Lactobacillaceae* fermentation // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 403. pp. 134441.
- 28 State Standart R 70650–2023 Drinks based on plant materials (grain, nuts, coconut). General technical specifications. 12 p. (in Russian).
- 29 Mercier S., Villeneuve S., Moresoli C., Mondor M. et al. Flaxseed-enriched cereal-based products: A review of the impact of processing conditions // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf*. 2014. Vol. 13. no. 4. pp. 400–412.

#### Сведения об авторах

**Айслу А. Мижева** аспирант, кафедра биотехнологии и биоорганического синтеза, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, mizheva.aislu@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0847-0819>

**Иван А. Фоменко** к.т.н., доцент, кафедра биотехнологии и биоорганического синтеза, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, fomenkoia@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

**Александра И. Карачун** студент, кафедра биотехнологии и биоорганического синтеза, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, alexandra155@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-2137-762X>

**Вероника В. Краснова** студент, кафедра биотехнологии и биоорганического синтеза, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, krasnovvamoonnica@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0004-1499-4429>

#### Вклад авторов

**Айслу А. Мижева** написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Иван А. Фоменко** консультация в ходе написания работы

**Александра И. Карачун** поиск и подбор литературных источников по исследуемой теме

**Вероника В. Краснова** поиск и подбор литературных источников по исследуемой теме

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Aislu A. Mizheva** graduate student, Department of biotechnology and bioorganic synthesis, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, mizheva.aislu@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0847-0819>

**Ivan A. Fomenko** candidate of technical sciences, docent, Department of biotechnology and bioorganic synthesis, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, fomenkoia@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

**Aleksandra I. Karachun** student, Department of biotechnology and bioorganic synthesis, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, alexandra155@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-2137-762X>

**Veronika V. Krasnova** student, Department of biotechnology and bioorganic synthesis, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, krasnovvamoonnica@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0004-1499-4429>

#### Contribution

**Aislu A. Mizheva** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Ivan A. Fomenko** consultation during the study

**Aleksandra I. Karachun** search and selection of literary sources on the topic under study

**Veronika V. Krasnova** search and selection of literary sources on the topic under study

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 21/10/2024 | После редакции 12/11/2024      | Принята в печать 25/11/2024 |
| Received 21/10/2024  | Accepted in revised 12/11/2024 | Accepted 25/11/2024         |

## Разработка рецептуры и технологии печенья овсяного диетического

|                      |              |                                                                    |                                                                                                         |
|----------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Анна Е. Ковалева     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:a.e.kovaleva@ya.ru">a.e.kovaleva@ya.ru</a>         |  0000-0001-7807-1755 |
| Эльвира А. Пьяникова | <sup>1</sup> | <a href="mailto:alia1969@ya.ru">alia1969@ya.ru</a>                 |  0000-0003-4424-7323 |
| Оксана В. Евдокимова | <sup>2</sup> | <a href="mailto:evdokimova_oxana@bk.ru">evdokimova_oxana@bk.ru</a> |  0000-0002-0393-2327 |
| Ирина В. Черемушкина | <sup>3</sup> | <a href="mailto:ir-inacher2010@ya.ru">ir-inacher2010@ya.ru</a>     |  0000-0002-6016-0220 |

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия

<sup>2</sup> Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия

<sup>3</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** В настоящее время ассортимент диетических мучных кондитерских изделий не велик. Но интерес к данной категории продукции повышается в связи с ростом различного рода заболеваний желудочно-кишечного тракта, ожирения и т.д. Цель исследования заключалась в разработке технологии и рецептуры печенья овсяного диетического. Объектом изучения являлось традиционное овсяное печенье, в рецептуре которого присутствует пшеничная мука высшего сорта. В разрабатываемой рецептуре печенья овсяного диетического было предложено заменить пшеничную муку на овсяную, полученную путем размола овсяных хлопьев «Геркулес», овсяную муку – на овсяные хлопья «Геркулес». Также взамен яиц были введены свежемороженые яблочные выжимки. Овсяные хлопья, мука, полученная из них, и яблочные выжимки содержат в себе пищевые волокна, обладающие рядом положительных свойств для человеческого организма и способствующие снижению риска развития ряда заболеваний. В ходе проведенных исследований были введены дополнительные операции: приготовление муки из овсяных хлопьев «Геркулес», приготовление смеси из яблочных выжимок, сиропа топинамбура и жирового компонента. Последняя операция позволяет получить тесто с требуемыми реологическими характеристиками и однородной структурой. Также установлено, что в отличие от традиционной технологии продолжительность процесса выпекания овсяного печенья диетического увеличивается в 1,5–2,5 раза, а температура снижается с 180–240 до 160°C. Данные режимы позволяют получить готовое изделие с высокими показателями качества.

**Ключевые слова:** печенье овсяное, рецептура, технологические параметры, овсяные хлопья, мука, яблочные выжимки.

## Development of the formulation and technology of oatmeal diet cookies

|                        |              |                                                                    |                                                                                                           |
|------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anna E. Kovaleva       | <sup>1</sup> | <a href="mailto:a.e.kovaleva@ya.ru">a.e.kovaleva@ya.ru</a>         |  0000-0001-7807-1755 |
| Elvira A. Pyanikova    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:alia1969@ya.ru">alia1969@ya.ru</a>                 |  0000-0003-4424-7323 |
| Oksana V. Evdokimova   | <sup>2</sup> | <a href="mailto:evdokimova_oxana@bk.ru">evdokimova_oxana@bk.ru</a> |  0000-0002-0393-2327 |
| Irina V. Cheremushkina | <sup>3</sup> | <a href="mailto:ir-inacher2010@ya.ru">ir-inacher2010@ya.ru</a>     |  0000-0002-6016-0220 |

<sup>1</sup> South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia

<sup>2</sup> Kursk Institute of Cooperation, Radishcheva, 116, Kursk, 305004, Russia

<sup>3</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** Currently, the range of dietary flour confectionery products is not large. But interest in this product category is increasing due to the growth of various diseases of the gastrointestinal tract, obesity, etc. The purpose of the study was to develop the technology and formulation of oatmeal dietary cookies. The object of the study was a traditional oatmeal cookie, in the formulation of which there is premium wheat flour. In the formulation of dietary oatmeal cookies being developed, it was proposed to replace wheat flour with oatmeal obtained by grinding oatmeal "Hercules", oatmeal with oatmeal "Hercules". Also, freshly frozen apple squeezes were introduced instead of eggs. Oat flakes, flour obtained from them, and apple pomace contain dietary fibers that have a number of positive properties for the human body and help reduce the risk of developing a number of diseases. In the course of the research, additional operations were introduced: the preparation of flour from oat flakes "Hercules", the preparation of a mixture of apple pomace, jerusalem artichoke syrup and a fat component. The last operation allows you to obtain a dough with the required rheological characteristics and a homogeneous structure. It was also found that, unlike traditional technology, the duration of the baking process of oatmeal cookies increases 1.5-2.5 times, and the temperature decreases from 180-240 up to 160°C. These modes allow you to get a finished product with high quality indicators.

**Keywords:** oatmeal cookies, recipe, technological parameters, oat flakes, flour, apple pomace.

### Введение

Мучные кондитерские изделия составляют значительную часть в структуре питания населения России, причем наиболее популярным его видом является печенье [1, 2]. Использование печенья в качестве источника дефицитных микронутриентов весьма перспективно.

Здоровье является главной составляющей богатства общества и национальной безопасности

страны. Продукты, которые население приобретает и использует, не сбалансированы по белкам, жирам и углеводам, наблюдается дефицит витаминов, микроэлементов [3]. Как показывают маркетинговые исследования, в последнее время потребители стали чаще обращать внимание на концепцию «Здорового образа жизни», и в частности, на функциональные и обогащенные

Для цитирования

Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Евдокимова О.В., Черемушкина И.В. Разработка рецептуры и технологии печенья овсяного диетического // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 52–57. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-52-57

For citation

Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Evdokimova O.V., Cheremushkina I.V. Development of the formulation and technology of oatmeal diet cookies. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 52–57. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-52-57

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

продукты питания. Это относится и к кондитерским изделиям [4].

Основная масса мучных кондитерских изделий производится из пшеничной муки высшего и / или первого сорта.

С развитием концепции здорового питания повышенное внимание привлекают продукты питания, приготовленные из грубых злаков, таких как овес. Зерно овса благодаря своим многочисленным питательным компонентам и функциональным свойствам укрепляет здоровье желудочно-кишечного тракта и регулировать уровень глюкозы в крови на международном уровне признано сырьем для здорового питания [5, 6].

Овсяная мука в отличие от пшеничной, в которая содержит глютен (80%), содержит в составе другое вещество – авенин. Это основной белок данной злаковой культуры (до 80%). Благодаря этому белку овсяная мука и овсяные хлопья оказывают на организм тонизирующее действие. В состав авенина, который на кишечник действует так же, как и глютен, входит 25% глутаминовой кислоты. Несмотря на то, что продукты из овса часто рекомендуют для людей, придерживающихся безглютеновой диеты, это можно отнести лишь только к тем хлопьям и муке, которые прошли специальную обработку и на которых стоит соответствующая пометка.

Кроме этого, отличительной особенностью овсяной муки является присутствие в ней кремния,

который в пшеничной муке отсутствует. Также овсяная мука богата витаминами В1 (23,3%), РР (21,5%) и минералами калием (11,2%), магнием (27,5%), фосфором (43,8%), железом (20%) [7–9].

Овсяная мука содержит в своем составе растворимую клетчатку –  $\beta$ -глюкан, которая способствует снижению уровня холестерина в крови и риска сердечно-сосудистых заболеваний [10].

**Цель работы** – разработка рецептуры и технологии производства печенья овсяного диетического.

### Материалы и методы

При разработке рецептуры печенья овсяного диетического была взята рецептура из сборника рецептов (Сборник унифицированных рецептов на печенье, 1989, рецептура № 198). С целью разработки печенья овсяного диетического было произведено ряд замен: мука пшеничная полностью заменена на овсяную, приготовленную из перемолотых овсяных хлопьев «Геркулес», овсяная мука – на овсяные хлопья «Геркулес», яйца – на яблочные выжимки, сахар – на сироп топинамбура. С учетом внесенных корректировок по рецептурным ингредиентам и их количественному соотношению в ходе многократных лабораторных выпечек были разработаны рецептуры (образец № 2, № 3 и № 4), представленные в таблице в таблице 1.

Таблица 1.

Рецептуры печенья «Овсяное» и печенья овсяного диетического

Table 1.

Recipes of "Oatmeal" cookies and oatmeal diet cookies

| Ингредиент<br>Ingredient                                                                             | Количество, кг   Content, kg |                            |                            |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                                                                                      | Контроль<br>Control          | Образец № 2<br>Sample No.2 | Образец № 3<br>Sample No.3 | Образец № 4<br>Sample No.4 |
| Мука пшеничная высшего сорта   Wheat flour of the highest grade                                      | 35,44                        | -                          | -                          | -                          |
| Мука овсяная   Oatmeal flour                                                                         | 14,78                        | -                          | -                          | -                          |
| Сахар   Sugar                                                                                        | 37,19                        | -                          | -                          | -                          |
| Мука овсяная из перемолотых овсяных хлопьев «Геркулес»   Oat flour from ground oat flakes "Hercules" | -                            | 130                        | 130                        | 130                        |
| Овсяные хлопья «Геркулес»   Oatmeal "Hercules"                                                       | -                            | 40                         | 40                         | 40                         |
| Яблочные выжимки   Apple squeezes                                                                    | -                            | 80                         | 60                         | 60                         |
| Масло сливочное   Butter                                                                             | 16,35                        | 90                         | 90                         | -                          |
| Яйца   Eggs                                                                                          | 15,18                        | -                          | -                          | -                          |
| Ванилин   Vanillin                                                                                   | 0,049                        | -                          | -                          | -                          |
| Сода пищевая   Baking soda                                                                           | 0,49                         | -                          | -                          | -                          |
| Соль пищевая   Food salt                                                                             | 0,39                         | -                          | -                          | -                          |
| Курага   Dried apricots                                                                              | -                            | -                          | 60                         | 60                         |
| Сироп топинамбура   Jerusalem Artichoke syrup                                                        | -                            | 110                        | 110                        | 110                        |
| Разрыхлитель   Baking powder                                                                         | -                            | 2                          | 2                          | 2                          |
| Растительное масло   Vegetable oil                                                                   | -                            | -                          | -                          | 90                         |

При приготовлении образца печенья овсяного диетического по рецептуре № 1 изделие было слегка внутри сыровато, что возможно связано с лишним количеством яблочных выжимок, в которых присутствуют пищевые волокна, обладающие повышенной влагоудерживающей способностью. Поэтому было принято решение уменьшить количество яблочных выжимок и изменить температурные режимы выпекания. В результате неоднократных выпечек и корректировок рецептурных ингредиентов была отработана рецептура № 3, которая позволила получить необходимый результат. Также в рецептуре с целью получения диетического печенья была произведена замена сливочного масла на растительное (образец № 4). Данная замена сказалась на снижении некоторых органолептических показателей, поэтому за рецептуру с оптимальным соотношением ингредиентов была взята рецептура № 3.

Отличительные особенности овсяного печенья формируются при замесе теста и выпечке. Замес теста по традиционной технологии ведется в тестомесильной машине периодического действия. Сырье загружается в следующей последовательности: жир (сливочное масло или маргарин), сахар, корица, ванилин, изюм. Изюм предварительно проходит магниты, подвергается мойке, а затем измельчается на машине типа мясорубки. В течение 10–30 мин смесь тщательно перемешивается (растирается).

В полученную массу при непрерывном помешивании добавляют овсяную муку, горячую воду температурой 70–90 °С (около 80% общего расхода) с растворенной в ней солью.

Полученная смесь перемешивается в течение 15–30 мин, после чего вносится остальное количество воды, пшеничная мука (кроме муки на разделку), сода и другие рецептурные компоненты. Замес теста происходит в течение 6 мин до образования однородной массы.

На замес овсяного теста, в зависимости от водопоглотительной способности муки, требуется 15–24% воды (общее количество) к массе муки. Влажность теста при этом составляет 16–19%. Температура теста – 24–27 °С. Тесто для овсяного печенья формуют на машинах типа ФПЛ или вручную.

При ручном формировании тесто раскатывают в пласт толщиной 9–11 мм и штампуют тестовые заготовки выемкой диаметром 38 мм, укладывают их на листы для выпечки. Выпекают овсяное печенье при температуре 180–240 °С в зависимости от конструктивных особенностей печи. Продолжительность выпечки – 8–13 мин.

Печенье после выпечки охлаждают на транспортерах или на листах и далее направляют на фасование, упаковывание и хранение [11, 12].

## Результаты и обсуждение

Новые технологии мучных кондитерских изделий, основанные на замене традиционного альтернативным сырьем, позволяют минимизировать затраты на расширение ассортимента и повысить пищевую ценность готового изделия. Технология приготовления печенья овсяного диетического представлена на рисунке 1.

Она включает в себя несколько этапов и начинается с подготовки овсяной муки. Для этого овсяные хлопья «Геркулес», размалываются с частотой вращения ножей 1300–1600 оборотов в минуту до полного размола хлопьев. Чтобы отделить случайные посторонние частицы, отличающиеся по размеру от частиц муки, муку овсяную просеивают. Мука проходит через сита просеивателя, размер ячеек 1,2–1,4 мм. Для удаления из муки металлических частиц, проходящих через отверстия сита просеивателя, на мучных линиях предусматриваются магнитные уловители. После прохождения через просеиватель и магнитоуловитель мука ссыпается во внутрицеховую маркированную тару и поступает в зону хранения добавок – сырья. Перед пуском в производство муку взвешивают.

Перед подачей на производство разрыхлители подвергаются предварительной подготовке. Гидрокарбонат натрия и карбонат аммония в измельченном виде просеивают через сито с ячейками диаметром не более 2 мм.

Применяемое в рецептуре овсяного печенья сливочное масло взвешивают и нагревают его до размягченного состояния.

Яблочные выжимки поступают свежемороженые в брикетах. Их первоначально подвергают разморозке при комнатной температуре, удаляют упаковку, протирают через сито на протирачной машине для удаления семян и перегородок, затем взвешивают необходимое количество.

Замес теста начинается со смешивания расплавленного сливочного масла (или растительного масла для образца № 4) с выжимками и сиропом в течение 2–3 мин., до получения однородной консистенции. Благодаря данной операции питательные вещества, содержащиеся в яблочных выжимках переходят в жировой компонент, а в последующем в готовое изделие. Затем добавляют разрыхлитель, овсяные хлопья «Геркулес» и муку, полученную размолотом из овсяных хлопьев «Геркулес». Хлопья придают изделию рассыпчатость и более воздушную структуру. Затем вносят измельченную курагу и полученную массу вымешивают в течение 5–7 минут до однородной консистенции. Из полученного теста делают заготовки круглой формы массой 50–60 г. и выкладывают их на противень, застеленный пергаментной бумагой.

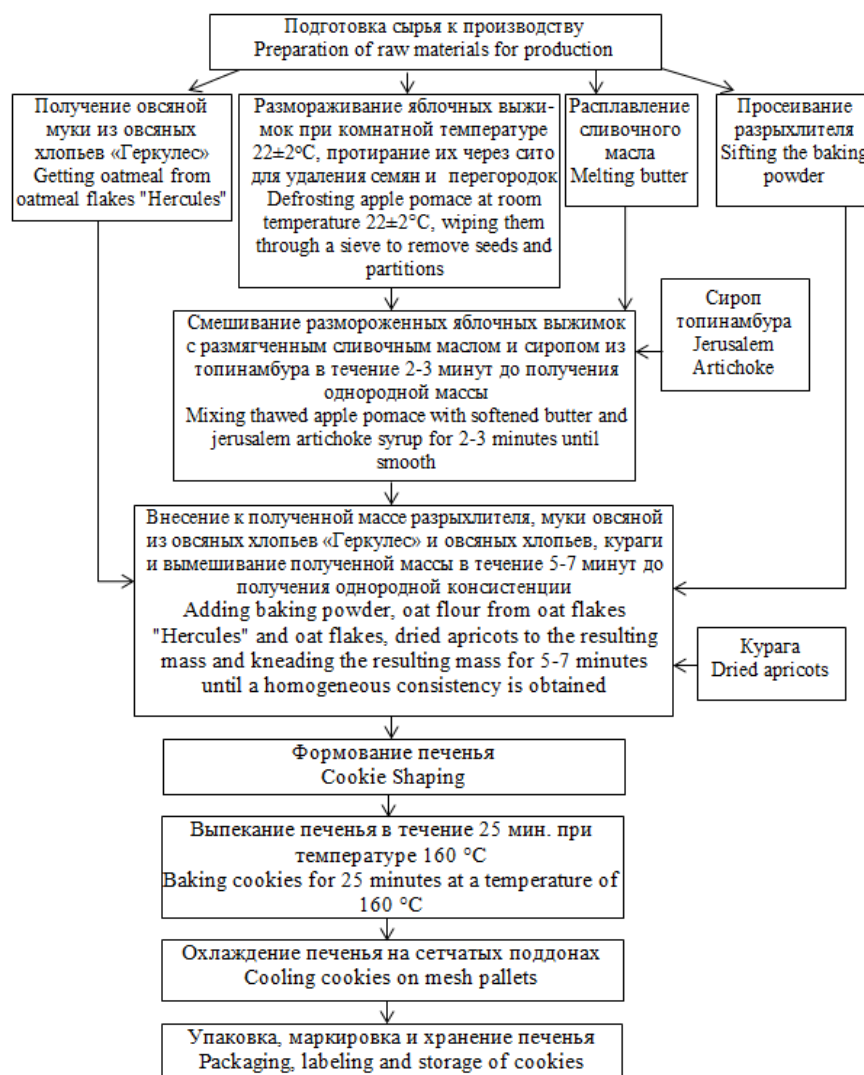


Рисунок 1. Технологическая схема производства печенья овсяного диетического  
Figure 1. Technological scheme for the production of cookies oatmeal for dietary

Выпекание осуществляют в предварительно нагретом духовом шкафу при температуре 160 °C в течение 25 минут. Выпекание образца № 4 (с заменой в рецептуре сливочного масла на растительное) осуществляли при температуре 160 °C в течение 20 минут. При увеличении температуры выпекания до 180 °C и при этом уменьшении времени выпекания у изделий верхняя корочка подгорала. По окончании выпечки печенье охлаждают на сетчатых поддонах при комнатной температуре и после полного остывания упаковывают.

### Заключение

В ходе разработки рецептуры и технологического процесса производства печенья овсяного диетического было установлено, что:

– отличительной особенностью рецептуры овсяного печенья обогащенного от традиционной является полная замена пшеничной муки на овсяную, полученную размолотом овсяных хлопьев «Геркулес», а овсяной – на овсяные хлопья «Геркулес»;

– в технологическом процессе производства добавились дополнительные операции: по приготовлению овсяной муки из овсяных хлопьев «Геркулес»; по приготовлению смеси из яблочных выжимок, жирового компонента (масла сливочного или растительного) и сиропа топинамбура;

– вводимая технологическая операция по приготовлению смеси из яблочных выжимок, жирового компонента (масла сливочного или растительного) и сиропа топинамбура позволяет получить тесто с требуемыми реологическими характеристиками, обеспечивающая равномерность распределения входящих в рецептурный состав компонентов, образование однородной структуры теста и готового овсяного печенья;

– процесс выпекания овсяного печенья диетического осуществлялся более длительное время (в течение 20 минут) при более низкой температуре 160 °C, в сравнении с традиционной технологией – 180 – 240 °C в течение 8–13 минут.

## Литература

- 1 Шанина Е.В. Перспективы применения вторичного сырьевого ресурса (жмыха льна) в производстве овсяного печенья // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5(194). С. 202–209. doi: 10.36718/1819–4036–2023–5–202–209
- 2 Магомедов Г., Олейникова А., Лукина С. и др. Новый кекс повышенной пищевой ценности // Хлебопродукты. 2010. № 6. С. 38–39.
- 3 Черемушкина И.В., Осенева О.В. «Зеленая» экономика: экологические инновации и экологические продукты // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85, № 4(98). С. 28–34. doi: 10.20914/2310–1202–2023–4–28–34
- 4 Беркетова Л.В. Содержание пищевых волокон в кондитерских изделиях // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 3. С. 111–117. doi: 10.20914/2310–1202–2022–3–111–117
- 5 Martínez-Villaluenga C., Peñas E. Health benefits of oat: current evidence and molecular mechanisms // Curr. Opin. Food Sci. 2017. V. 14. P. 26–31.
- 6 Raguindin P.F., Itodo O. Adam, Stoyanov J., Dejanovic G.M. et al. A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat // Food Chem. 2021. V. 338. P. 127982.
- 7 Пат. № 2775915, RU, A21D 13/80, A21D 13/066, A21D 8/06. Бисквитный полуфабрикат безглютеновый и способ его приготовления / Пьяникова Э.А., Ковалева А.Е., Ткачева Е.Д., Рязанцева А.С. № 2021132799; Заявл. 11.11.2021; Опубл. 11.07.2022.
- 8 Самсонова Е.Д., Красноштанова А.А. Технология хлебобулочных изделий с использованием белоксодержащего растительного сырья // Успехи в химии и химической технологии. 2020. № 11. С. 62–67.
- 9 Полоцкий В.И., Суринов Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г. и др. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(6). С. 683–690.
- 10 Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Рязанцева А.С. и др. Влияние добавления муки из овсяных хлопьев на технологические параметры приготовления пшеничного багета // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1(99). С. 38–45. doi: 10.20914/2310–1202–2024–1–38–45
- 11 Погорелова Н.А., Жигульская И.А., Белкина С.Е. Разработка технологии овсяного печенья с функциональными ингредиентами // Вестник ОмГАУ. 2017. № 3 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-ovsyanoego-pechenya-s-funktsionalnymi-ingredientami>
- 12 Ткешелашвили М.Е., Бобожонова Г.А. Использование натуральных сахарозаменителей в производстве овсяного печенья // Товаровед продовольственных товаров. 2022. № 5. С. 316–318. doi: 10.33920/igt-01–2205–04
- 13 Chauhan A., Saxena D.C., Singh S. Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour // LWT-Food Science and Technology. 2015. V. 63. №. 2. P. 939-945. doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.115
- 14 Lauková M., Kohajdová Z., Karovičová J. Effect of hydrated apple powder on dough rheology and cookies quality // Slovak Journal of Food Sciences/Potravinárstvo. 2016. V. 10. №. 1.
- 15 Jemziya M.B.F., Mahendran T. Quality characteristics and sensory evaluation of cookies produced from composite blends of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) flour // Sri Lanka Journal of Food and Agriculture. 2015. V. 1. №. 2. doi: 10.4038/sljfa.v1i2.16
- 16 Batista A.P., Niccolai A., Fradinho P., Fragoso S. et al. Microalgae biomass as an alternative ingredient in cookies: Sensory, physical and chemical properties, antioxidant activity and in vitro digestibility // Algal research. 2017. V. 26. P. 161-171. doi: 10.1016/j.algal.2017.07.017
- 17 Miranda J., Lasa A., Bustamante M.A., Churrua I. et al. Nutritional differences between a gluten-free diet and a diet containing equivalent products with gluten // Plant foods for human nutrition. 2014. V. 69. P. 182-187. doi: 10.1007/s11130-014-0410-4
- 18 Melini V., Melini F. Gluten-free diet: Gaps and needs for a healthier diet // Nutrients. 2019. V. 11. №. 1. P. 170. doi: 10.3390/nu11010170
- 19 Schwimmer J.B. et al. Effect of a low free sugar diet vs usual diet on nonalcoholic fatty liver disease in adolescent boys: a randomized clinical trial // Jama. 2019. V. 321. №. 3. P. 256-265. doi:10.1001/jama.2018.20579
- 20 Shewry P.R., Hey S.J. The contribution of wheat to human diet and health // Food and energy security. 2015. V. 4. №. 3. P. 178-202. doi: 10.1002/fes3.64

## References

- 1 Shanina E.V. Prospects for the Use of Secondary Raw Materials (Flax Cake) in the Production of Oatmeal Cookies. Bulletin of KrasSAU. 2023. no. 5 (194). pp. 202–209. doi: 10.36718/1819–4036–2023–5–202–209 (in Russian).
- 2 Magomedov G., Oleynikova A., Lukina S., et al. New Cake with Increased Nutritional Value. Bread Products. 2010. no. 6. pp. 38–39. (in Russian).
- 3 Cheremushkina I.V., Oseneva O.V. “Green” Economy: Environmental Innovations and Environmental Products. Proceedings of VSUET. 2023. vol. 85. no. 4 (98). pp. 28–34. doi: 10.20914/2310–1202–2023–4–28–34 (in Russian).
- 4 Berketova L.V. Dietary fiber content in confectionery products. Proceedings of VSUET. 2022. vol. 84. no. 3. pp. 111–117. doi: 10.20914/2310–1202–2022–3–111–117 (in Russian).
- 5 Martínez-Villaluenga C., Peñas E. Health benefits of oat: current evidence and molecular mechanisms. Curr. Opin. Food Sci. 2017. vol. 14. pp. 26–31.
- 6 Raguindin P.F., Itodo O. Adam, Stoyanov J., Dejanovic G.M. et al. A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat. Food Chem. 2021. vol. 338. pp. 127982.
- 7 P'yannikova E.A., Kovaleva A.E., Tkacheva E.D., Ryazantseva A.S. Gluten-free biscuit semi-finished product and method for its preparation. Patent RF, no. 2775915, 2022.
- 8 Samsonova E.D., Krasnoshtanova A.A. Technology of bakery products using protein-containing plant raw materials. Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2020. no. 11. pp. 62–67. (in Russian).

- 9 Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G. et al. Study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of different geographical origins by grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019. no. 23(6). pp. 683–690. (in Russian).
- 10 Kovaleva A.E., P'yanikova E.A., Ryazantseva A.S., et al. Effect of adding oatmeal flour on the technological parameters of wheat baguette preparation. *Proceedings of VSUET*. 2024. vol. 86. no. 1(99). pp. 38–45. doi: 10.20914/2310–1202–2024–1–38–45 (in Russian).
- 11 Pogorelova N.A., Zhigul'skaya I.A., Belkina S.E. Development of technology for oatmeal cookies with functional ingredients. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2017. no. 3 (27). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-ovsyanogo-pechenya-s-funktsionalnymi-ingredientami> (in Russian).
- 12 Tkeshelashvili M.E., Bobozhonova G.A. Use of natural sugar substitutes in the production of oatmeal cookies. *Commodity expert of food products*. 2022. no. 5. pp. 316–318. doi: 10.33920/igt 01–2205–04 (in Russian).
- 13 Chauhan A., Saxena D.C., Singh S. Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour. *LWT-Food Science and Technology*. 2015. vol. 63. no. 2. pp. 939–945. doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.115
- 14 Lauková M., Kohajdová Z., Karovičová J. Effect of hydrated apple powder on dough rheology and cookies quality. *Slovak Journal of Food Sciences/Potravinárstvo*. 2016. vol. 10. no. 1.
- 15 Jemziya M.B.F., Mahendran T. Quality characteristics and sensory evaluation of cookies produced from composite blends of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) flour. *Sri Lanka Journal of Food and Agriculture*. 2015. vol. 1. no. 2. doi: 10.4038/sljfa.v1i2.16
- 16 Batista A.P., Niccolai A., Fradinho P., Fragoso S. et al. Microalgae biomass as an alternative ingredient in cookies: Sensory, physical and chemical properties, antioxidant activity and in vitro digestibility. *Algal research*. 2017. vol. 26. pp. 161–171. doi: 10.1016/j.algal.2017.07.017
- 17 Miranda J., Lasa A., Bustamante M.A., Churrua I. et al. Nutritional differences between a gluten-free diet and a diet containing equivalent products with gluten. *Plant foods for human nutrition*. 2014. vol. 69. pp. 182–187. doi: 10.1007/s11130-014-0410-4
- 18 Melini V., Melini F. Gluten-free diet: Gaps and needs for a healthier diet. *Nutrients*. 2019. vol. 11. no. 1. pp. 170. doi: 10.3390/nu11010170
- 19 Schwimmer J.B. et al. Effect of a low free sugar diet vs usual diet on nonalcoholic fatty liver disease in adolescent boys: a randomized clinical trial. *Jama*. 2019. vol. 321. no. 3. pp. 256–265. doi:10.1001/jama.2018.20579
- 20 Shewry P.R., Hey S.J. The contribution of wheat to human diet and health. *Food and energy security*. 2015. vol. 4. no. 3. pp. 178–202. doi: 10.1002/fes3.64

#### Сведения об авторах

**Анна Е. Ковалева** к.х.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, a.e.kovaleva@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7807-1755>

**Эльвира А. Пьяникова** к.т.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, alia1969@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4424-7323>

**Оксана В. Евдокимова** д.т.н., профессор, кафедра анатомии, физиологии и хирургии, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия, evdokimova\_oxana@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0393-2327>

**Ирина В. Черемушкина** д.т.н., профессор, кафедра торгового дела и товароведения, Воронежский государственный университет, пр. Революции, 19 г. Воронеж, 394036, Россия, ir-inacher2010@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6016-0220>

#### Вклад авторов

**Анна Е. Ковалева** написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

**Эльвира А. Пьяникова** консультация в ходе исследования

**Оксана В. Евдокимова** предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания

**Ирина В. Черемушкина** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Anna E. Kovaleva** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, a.e.kovaleva@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7807-1755>

**Elvira A. Pyanikova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, alia1969@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4424-7323>

**Oksana V. Evdokimova** Dr. Sci. (Engin.), anatomy, physiology and surgery department, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Generala Rodina str., 69, Orel, 302019, Russia, evdokimova\_oxana@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0393-2327>

**Irina V. Cheremushkina** Dr. Sci. (Engin.), professor, trade and commodity department, Voronezh State University of Engineering Technologie, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ir-inacher2010@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6016-0220>

#### Contribution

**Anna E. Kovaleva** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Elvira A. Pyanikova** consultation during the study

**Oksana V. Evdokimova** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Irina V. Cheremushkina** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 31/07/2024 | После редакции 15/08/2024      | Принята в печать 02/09/2024 |
| Received 31/07/2024  | Accepted in revised 15/08/2024 | Accepted 02/09/2024         |

## Влияние безалкогольных напитков на основе супернатантов томатов на морфофункциональное состояние отдельных органов животных в эксперименте in vivo

|                       |              |                                                                          |                                                                                                         |
|-----------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Андрей В. Гребенщиков | <sup>1</sup> | <a href="mailto:serafim10@ya.ru">serafim10@ya.ru</a>                     |  0000-0002-0443-9809 |
| Алла Е. Чусова        | <sup>1</sup> | <a href="mailto:hycovai@mail.ru">hycovai@mail.ru</a>                     |  0000-0003-1237-4870 |
| Виктория А. Иванова   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:viktoriaivanova@bk.ru">viktoriaivanova@bk.ru</a>         |  0009-0000-1405-9327 |
| Алена А. Пронькина    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:pronkinaalena12@gmail.com">pronkinaalena12@gmail.com</a> |  0000-0002-8183-6082 |
| Олеся П. Проскурина   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:proskurina-bio@ya.ru">proskurina-bio@ya.ru</a>           |  0000-0001-7963-1646 |
| Людмила И. Василенко  | <sup>1</sup> | <a href="mailto:vli2008@yandex.ru">vli2008@yandex.ru</a>                 |  0000-0003-4038-0549 |

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Исследование влияния экспериментальных безалкогольных напитков на основе супернатантов томатов на морфофункциональное состояние внутренних органов здоровых половозрелых белых беспородных крыс линии Wistar проводилось в ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии» (г. Воронеж) и ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет инженерных технологий. Целью исследования было изучить, как супернатанты томатов влияют на морфофункциональное состояние почек, печени, слизистой оболочки двенадцатиперстной кишки и ворсинок двенадцатиперстной кишки. Для этого было сформировано четыре группы животных. Первой группе давали напиток на основе супернатанта из сока томатов сорта Волгоградский 5/95, второй группе — напиток на основе супернатанта из сока томатов сорта Оранжевый, а третьей группе — напиток на основе супернатанта из сока томатов сорта Чёрный принц. Также была сформирована контрольная группа, животные которой получали обычный рацион питания. Морфологические показатели органов изучались с помощью общепринятых методов. В результате гистологических и морфометрических исследований были обнаружены различные морфологические изменения в первой и второй группах. В частности, наблюдались зернистость цитоплазмы гепатоцитов, очаги инфильтрации, отслоение эпителия ворсинок и уменьшение длины ворсинок в кишечнике. Хотя эти изменения не являются серьёзными и обратимыми, они могут негативно повлиять на организм животных и требуют коррекции. В то же время в органах животных третьей группы и контрольной группы не было обнаружено никаких изменений, что может указывать на отсутствие негативного воздействия, выявленного в первой и второй группах.

**Ключевые слова:** морфология, функциональное состояние, почки, печень, слизистая оболочка желудка, двенадцатиперстная кишка, томат, супернатант.

## The effect of soft drinks based on tomato supernatant on the morpho-functional state of individual animal organs in vivo experiments

|                          |              |                                                                          |                                                                                                           |
|--------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Andrey V. Grebenshchikov | <sup>1</sup> | <a href="mailto:serafim10@ya.ru">serafim10@ya.ru</a>                     |  0000-0002-0443-9809 |
| Alla E. Chusova          | <sup>1</sup> | <a href="mailto:hycovai@mail.ru">hycovai@mail.ru</a>                     |  0000-0003-1237-4870 |
| Victoria A. Ivanova      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:viktoriaivanova@bk.ru">viktoriaivanova@bk.ru</a>         |  0009-0000-1405-9327 |
| Alyona A. Pronkina       | <sup>1</sup> | <a href="mailto:pronkinaalena12@gmail.com">pronkinaalena12@gmail.com</a> |  0000-0002-8183-6082 |
| Olesya P. Proskurina     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:proskurina-bio@ya.ru">proskurina-bio@ya.ru</a>           |  0000-0001-7963-1646 |
| Lyudmila I. Vasilenko    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:vli2008@yandex.ru">vli2008@yandex.ru</a>                 |  0000-0003-4038-0549 |

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** The study of the effect of experimental soft drinks based on tomato supernatants on the morphofunctional state of the internal organs of healthy sexually mature white outbred Wistar rats was conducted at the Federal State Budgetary Scientific Institution "ALL-Russian scientific research veterinary institute of pathology, pharmacology and therapy" (g. Voronezh) and Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Voronezh State University of Engineering Technologies". The aim of the study was to study how tomato supernatants affect the morphofunctional state of the kidneys, liver, duodenal mucosa and duodenal villi. For this purpose, four groups of animals were formed. The first group was given a drink based on a supernatant from tomato juice of the Volgogradsky 5/95 variety, the second group was given a drink based on a supernatant from tomato juice of the Orange variety, and the third group was given a drink based on a supernatant from tomato juice of the Black Prince variety. A control group was also formed, the animals of which received the usual diet. Morphological parameters of organs were studied using generally accepted diagnostic methods. As a result of histological and morphometric studies, various morphological changes were found in the first and second groups of patients. In particular, granularity of the cytoplasm of hepatocytes, foci of infiltration, detachment of the villi epithelium and a decrease in the length of villi in the intestine were observed. Although these changes are not serious and reversible, they can negatively affect the animal's body and require correction. At the same time, no changes were found in the organs of animals of the third group and the control group, which may indicate the absence of negative effects detected in the first and second groups of animals.

**Keywords:** morphology, functional state, kidneys, liver, gastric mucosa, duodenum, tomato, supernatant.

### Для цитирования

Гребенщиков А.В., Чусова А.Е., Иванова В.А., Пронькина А.А., Проскурина О.П., Василенко Л.И. Влияние безалкогольных напитков на основе супернатантов томатов на морфофункциональное состояние отдельных органов животных в эксперименте in vivo // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 58–67. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-58-67

### For citation

Grebenshchikov A.V., Chusova A.E., Ivanova V.A., Pronkina A.A., Proskurina O.P., Vasilenko L.I. The effect of soft drinks based on tomato supernatant on the morpho-functional state of individual animal organs in vivo experiments. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 58–67. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-58-67

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Стратегическая задача аграрного производства – обеспечить население высококачественной продукцией, богатой витаминами. В связи с этим основная цель государственной политики в области здорового питания – разработка и внедрение продуктов с высоким содержанием питательных веществ [1–7].

В решении этой проблемы большое значение имеет производство напитков на основе томатных супернатантов. Эти напитки обладают ценными свойствами и высоким содержанием биологически активных веществ [8–9].

Производство безалкогольных напитков направлено на сохранение и улучшение качества продукта с длительным сроком хранения. Согласно предыдущим исследованиям и работам других авторов, основными критериями качества безалкогольного напитка на основе супернатанта являются содержание сухих веществ, общего сахара, кислотности, каротина, аскорбиновой кислоты и клетчатки, а также вкус, цвет и запах [10,11,15].

Для производства напитка используются супернатанты из соков, полученных из качественных томатов, которые используются для производства ликопина [14,15].

Разработка нового безалкогольного напитка на основе супернатанта томатов позволит сделать его доступным для различных групп населения. В связи с этим одним из этапов разработки продукта является оценка его биологической активности на лабораторных животных. [12,13,16,19].

Поскольку при производстве напитка на основе томатов используются различные технологии обработки сырья, полученный водный экстракт может содержать разное количество биологически активных веществ и, следовательно, обладать разной биологической активностью [17–20].

Актуальность работы заключается в отсутствии в доступной научно-технической литературе сведений о микроструктурных характеристиках органов лабораторных крыс при выпаивании им напитков на основе супернатантов, полученных из разных сортов томатов.

**Цель работы** – оценить реакцию системы гомеостаза у лабораторных крыс при употреблении напитков на основе супернатантов томатов.

## Материалы и методы

В качестве тест-систем использовали разнополых здоровых половозрелых белых беспородных крыс линии Wistar. Содержание животных и манипуляции с ними соответствовали European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and other Scientific

Purposes (ETS 123, Strasbourg, 1986) и Директиве 2010/63/EU Европейского парламента и совета Европейского Союза от 22 сентября 2010 года по охране животных, используемых в научных целях. Лабораторные крысы содержались в условиях вивария в соответствии с требованиями ГОСТ 33215–2014 и ГОСТ 33216–2014 [12,13].

В соответствии с дизайном эксперимента, изучение влияния супернатантов полученных из томатов различных сортов проводили на 30 белых крысах-самцах с массой тела 165–185 г. при пероральном введении исследуемого препарата в течение 15 дней согласно «Руководства по проведению доклинических исследований лекарственных средств». Препараты вводили ежедневно один раз в день в дозах 0,1 мл/кг (терапевтическая) и 1,0 мл/кг (в 10 раз превышающая терапевтическую).

Биологический материал (почка, печень, желудок и 12-перстная кишка.) отбирались у крыс после эвтаназии передозировкой углекислого газа в специальной камере через 15 дней от начала опыта. Обработка материала проводилась по стандартной валидированной методике, которая включает фиксацию в 10% формалине, дегидратацию в спиртах, заливке в гистологический парфин, нарезку срезов на микротоме МПС-2, окраску гематоксилином-эозином по валидованному протоколу. Морфометрию проводили с помощью микроскопа биомед-3 и камеры. Для получения фото использовалось программное обеспечение Tour View. Для калибровки использовался морфометрический стандарт [4–6].

Данные, полученные в ходе исследования, были подвергнуты статистической обработке с использованием программы Statistica v10.0 (StatSoft. Inc. США). Были рассчитаны средняя арифметическая, а также стандартная ошибка средней. Достоверность различия между выборками оценивалась с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни. Статистическая гипотеза считалась достоверной при  $P < 0,05$ .

## Результаты

В образцах группы 1 (напиток на основе супернатанта из томатов сорта Волгоградский 5/92) печень имела типичную для крыс архитектуру. В частности дольковое и балочное строение сохранно, междольковые перегородки не визуализировались (рисунок 1). Сосуды органа были неравномерно кровенаполнены, при этом визуализировались мелкие скопления лейкоцитов. Гепатоциты сохраняли свою типичную форму, цитоплазма была окрашена по большей части равномерно, однако у некоторых присутствовали цитоплазматические включения в виде вакуолей или пустот.

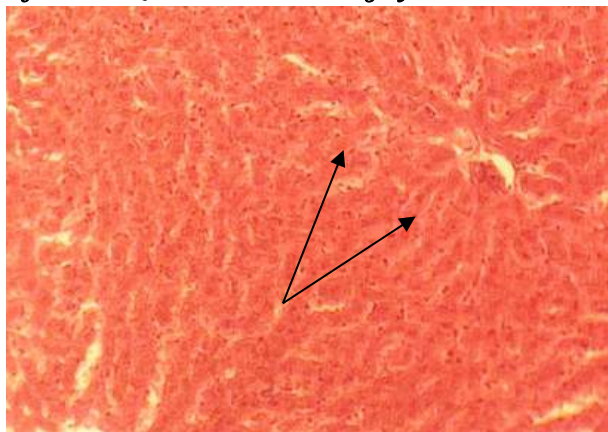


Рисунок 1. Гистологическая структура печени. Дольковое и балочное строение сохранно. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×40

Figure 1. Histological structure of the liver. The lobular and girder structure is preserved. Staining with hematoxylin-eosin. Increase×40

Почка также имела типичное строение, корковое и мозговое вещество были хорошо различимы, сосудистые клубочки обыкновенного вида (рисунок 2).

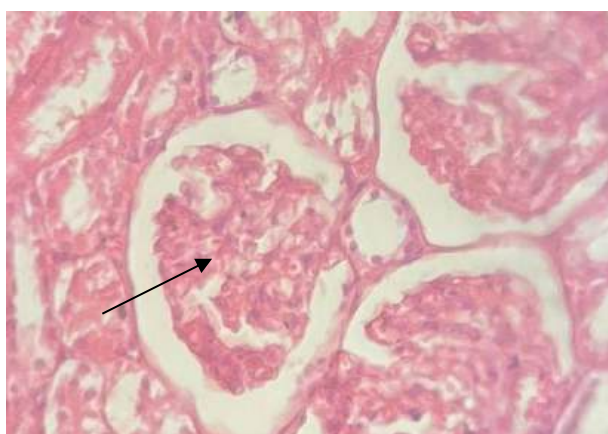


Рисунок 2. Гистологическая структура почки. Типичное строение сосудистого клубочка. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×400

Figure 2. Histological structure of kidney. The typical structure of the vascular glomerulus. Staining with hematoxylin-eosin. Increase×400

Серозная оболочка желудка была представлена слоем мезотелия (снаружи) и подлежащей соединительной тканью. Мышечная оболочка сохранна, представлена тремя слоями гладкой мускулатуры. Подслизистая основа представлена волокнами соединительной ткани, слизистая оболочка представлена кардиальными и фундальными железами. На слизистой в некоторых местах визуализируются участки эрозии.

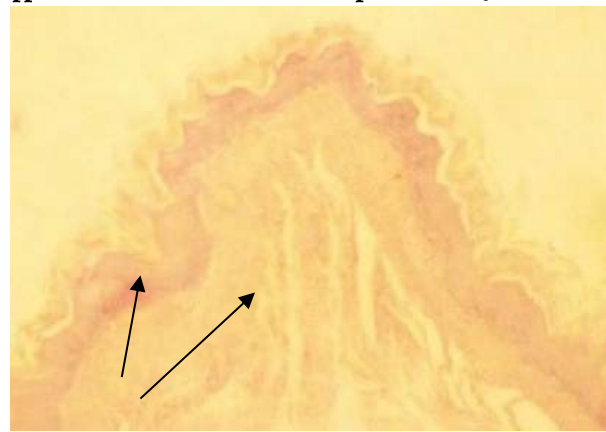


Рисунок 3. Гистологическая структура слизистой оболочки желудка. Подслизистая основа представлена волокнами соединительной ткани, слизистая оболочка представлена кардиальными и фундальными железами. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×40

Figure 3. Histological structure of the gastric mucosa. Glands of the gastric mucosa. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×40

Двенадцатиперстная кишка имеет обычное строение (рисунок 3). Ворсины длинные, крипты средней глубины, слабо извитые. Эпителий ворсин по большей части имеет сохраненный вид, но у части ворсинок на верхушке эпителий десквамирован.

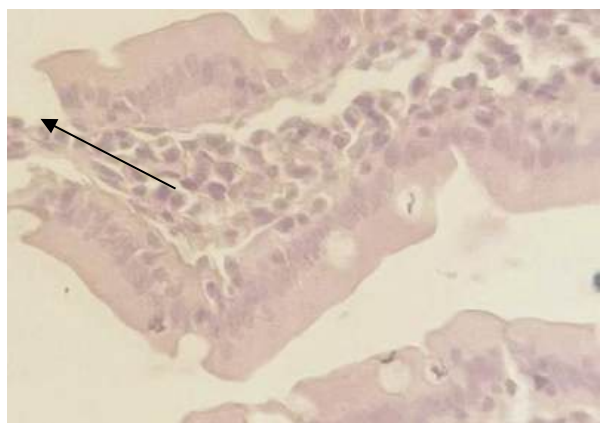


Рисунок 4. Гистологическая структура двенадцатиперстной кишки. Десквамация эпителия. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×400

Figure 4. Histological structure of the duodenum. Desquamation of the epithelium. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×400

Также в некоторых ворсинках видны мононуклеарные и полиморфоядерные лейкоциты, что указывает на возможное развитие воспалительных процессов.

В образцах группы 2 (напиток на основе супернатанта из томатов сорта Аранж) печень также имела типичное гистологическое строение, балочное строение сохранено, междольковых перегородок не визуализируется, сосуды неравномерно кровенаполнены, капиллярное русло запустевшее (рисунок 5).

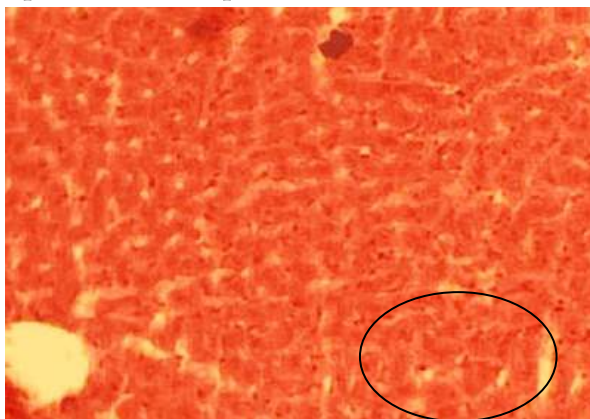


Рисунок 5. Гистологическая структура печени. Очажки мононуклеарной инфильтрации. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×40

Figure 5. Histological structure of liver. Foci of mononuclear infiltration. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×40

Гепатоциты имеют полигональную форму, встречаются двухядерные клетки. На срезе органа визуализируются мелкие (10–20) клеток очажки мононуклеарной инфильтрации.

В почке архитектоника сохранена, клубочки типичного вида (рисунок 6). Капсула Шумлянскогo слегка расширена, просвет части канальцев слегка сужен, у некоторых канальцев в просвете визуализируются эозинофильные массы, которые скорее всего имеют белковое происхождение. Клетки эпителия канальцев имеют цитоплазматические включения (зерна), а также у части цитоплазма окрашена неравномерно.

Двенадцатиперстная кишка (рисунок 7) имеет обычное строение. Ворсины длинные, крипты средней глубины, слабо извитые. Эпителий ворсин по большей части сохраненного вида, но у единичных ворсин видна десквамация эпителия, что может указывать на негативное влияние кислот и приводить к мальабсорбции.

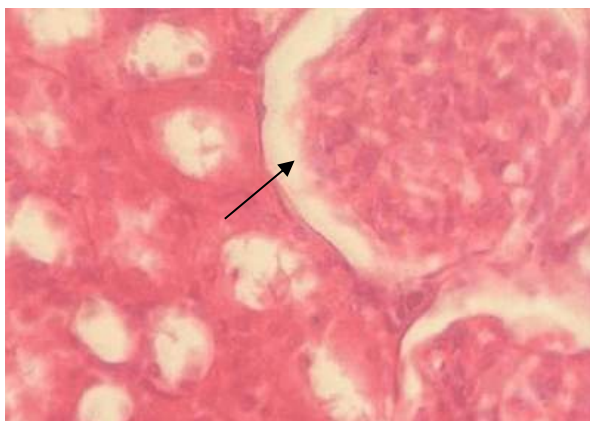


Рисунок 6. Гистологическая структура почки. Расширенная капсула Шумлянскогo. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×400

Figure 6. Histological structure of the kidney. Shumlyansky's expanded capsule. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×400

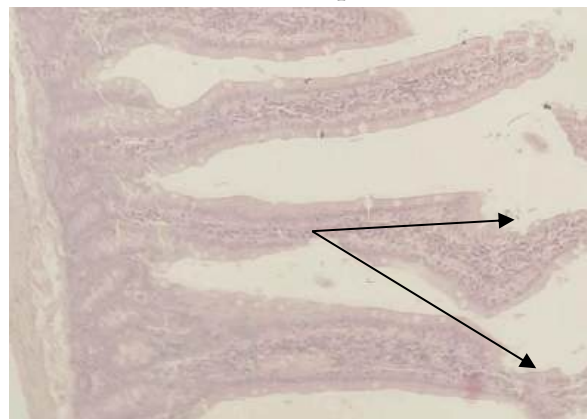


Рисунок 7. Гистологическая структура двенадцатиперстной кишки. Десквамация эпителия. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×100

Figure 7. Histological structure of the duodenum. Desquamation of the epithelium. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×100

Серозная оболочка желудка (рисунок 8) представлена слоем мезотелия (снаружи) и подлежащей соединительной тканью. Мышечная оболочка сохранена, представлена тремя слоями гладкой мускулатуры.

Подслизистая основа представлена волокнами соединительной ткани, слизистая оболочка представлена кардиальными и фундальными железами, однако видно уменьшение толщины слизистой за счет частичного стирания эпителиального и железистого слоя.

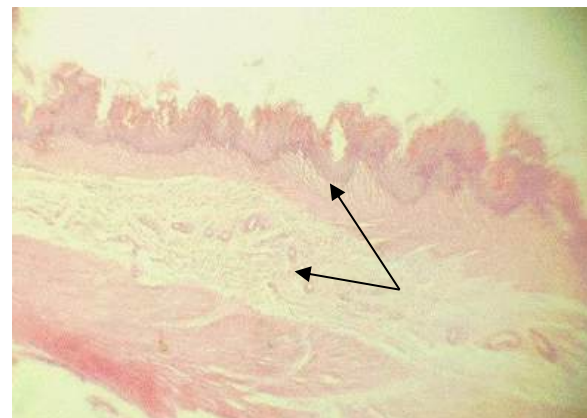


Рисунок 8. Гистологическая структура слизистой оболочки желудка. Уменьшение толщины слизистой за счет частичного стирания эпителиального и железистого слоя. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×40.

Figure 8. Histological structure of the gastric mucosa. Reduction of mucosal thickness due to partial erasure of the epithelial and glandular layer. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×40.

В образцах группы 3 (напиток на основе супернатанта из томатов сорта Бычий Лоб) печень имеет типичное гистологическое строение (рисунок 9). Сосуды по большей части кровенаполнены равномерно, балочное строение сохранено,

капиллярное русло слабо кровенаполнено. Гепатоциты полигональной формы, визуализируются единичные двоядерные клетки, цитоплазма по большей части окрашена равномерно, но на периферии среза видны клетки с пустотами, а также визуализируются клетки с зернистостью цитоплазмы.

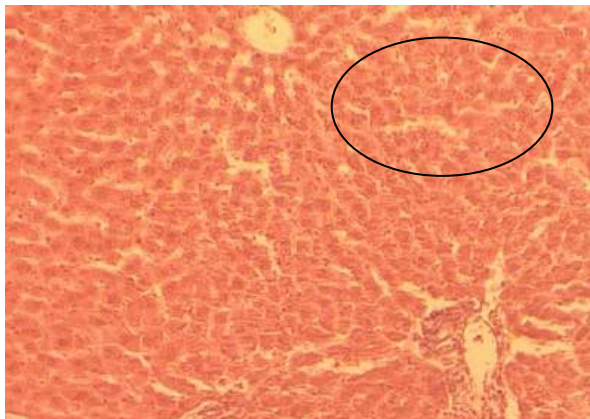


Рисунок 9. Гистологическая структура печени. Клетки с пустотами, а также зернистостью цитоплазмы. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×40  
Figure 9. Histological structure of the liver. Cells with voids, as well as granularity of the cytoplasm. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×40

Около сосудов триад видны небольшие скопления мононуклеарных лейкоцитов.

В почке архитектура сохранена, клубочки обыкновенного вида, капсула Шумлянского слегка расширена, просвет части канальцев слегка сужен, клетки эпителия канальцев имеют цитоплазматические включения (зерна) (рисунок 10).



Рисунок 10. Гистологическая структура почки. Расширенная капсула Шумлянского. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×400  
Figure 10. Histological structure of the kidney. Shumlyansky's expanded capsule. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×400

Двенадцатиперстная кишка имеет типичное строение (рисунок 11). Ворсины длинные, крипты средней глубины и глубокие, слабо извитые, хорошо видна митотическая активность.

Эпителий ворсин по большей части имеет сохранный вид, но у части ворсинок на верхушке и в средней части эпителий десквамирован в значительной степени. Также в единичных ворсинках видны мононуклеарные и полиморфоядерные лейкоциты, что указывает на возможное развитие воспалительных процессов.

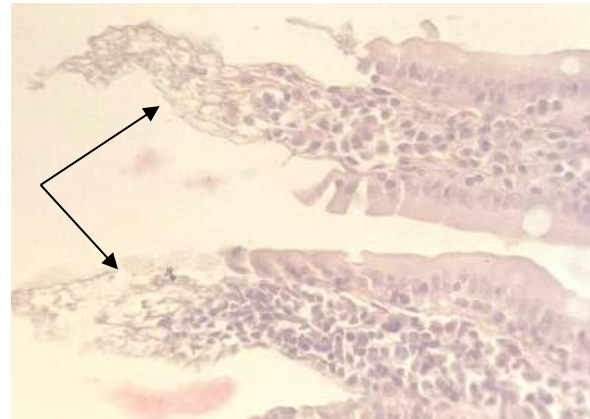


Рисунок 11. Гистологическая структура двенадцатиперстной кишки. Десквамация эпителия значительной части ворсинки. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×100

Figure 11. Histological structure of the duodenum. Desquamation of the epithelium of a significant part of the villi. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×100

Серозная оболочка желудка представлена слоем мезотелия (снаружи) и подлежащей соединительной тканью (рисунок 12). Подслизистая основа представлена волокнами соединительной ткани, слизистая оболочка представлена кардиальными и фундальными железами, однако видны участки частичной эрозии слизистой и десквамации эпителия.

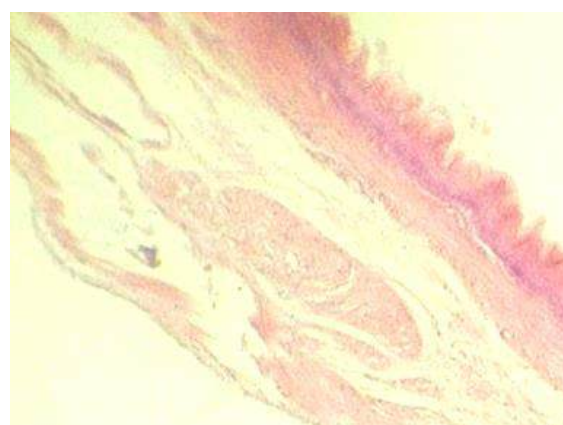


Рисунок 12. Гистологическая структура слизистой оболочки желудка. Участки частичной эрозии слизистой и десквамации эпителия. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×40

Figure 12. Histological structure of the gastric mucosa. Areas of partial erosion of the mucosa and desquamation of the epithelium. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×40

В образцах группы 4 (напиток на основе супернатанта из томатов сорта Черное сердце америки) печень также имеет типичную архитектуру, гепатоциты полигональной формы, цитоплазма окрашена ярко, равномерно, ядро расположено по центру (рисунок 13). Сосуды умеренно равномерно кровенаполнены, балочное и дольчатое строение сохранно.

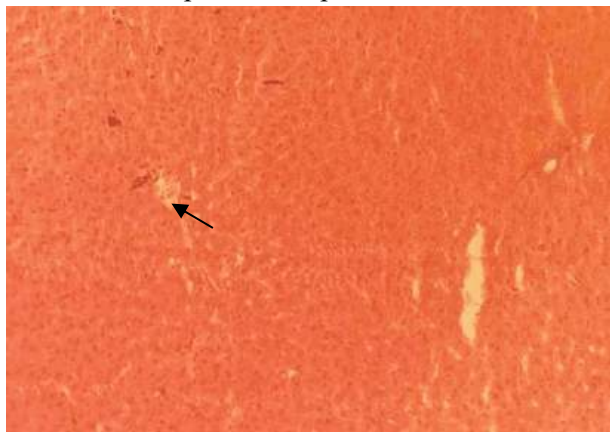


Рисунок 13. Гистологическая структура печени. Кровенаполненные кровеносные сосуды. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×40

Figure 13. Histological structure of the liver. Blood-filled blood vessels. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×40

В почке хорошо различимы корковое и мозговое вещество (рисунок 14).

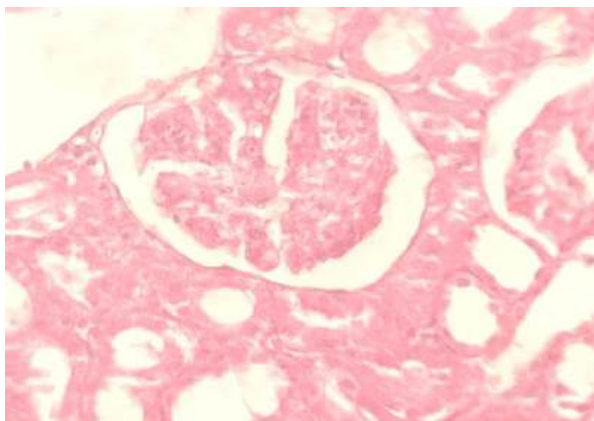


Рисунок 14. Гистологическая структура почки. Свободный просвет извитых канальцев. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×400

Figure 14. Histological structure of the kidney. Free lumen of the convoluted tubules. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×400

Клубочки типичного строения, слабо кровенаполнены, капсула Шумлянского типичного вида, четко визуализируется. Проксимальные и дистальные канальца также имеют обычное строение, просвет свободный, эпителий канальцев типичного строения.

Исследование двенадцатиперстной кишки не выявляло отклонений от типичной архитектуры органа (рисунок 15).

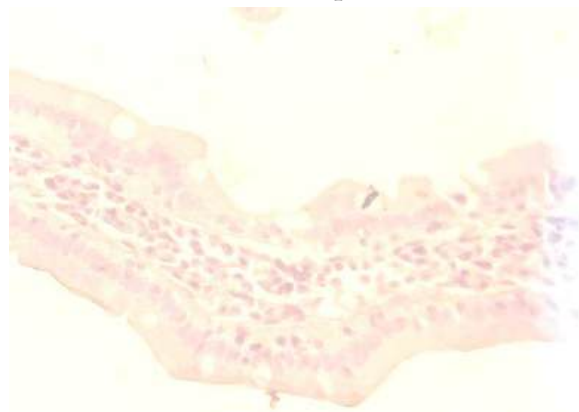


Рисунок 15. Гистологическая структура двенадцатиперстной кишки. Сохранившийся эпителий ворсинок. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×100

Figure 15. Histological structure of the duodenum. The preserved epithelium of the villi. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×100

Ворсины длинные, слабо извитые, крипты средней глубины и глубокие, слабо извитые, визуализируется митотическая активность. Эпителий ворсин сохранного вида, визуализируются бокаловидные энтероциты.

Желудок имел обычную гистологическую структуру (рисунок 16). Серозная оболочка сохранного вида, мышечная оболочка сохранна, представлена тремя слоями гладких мышечных волокон.

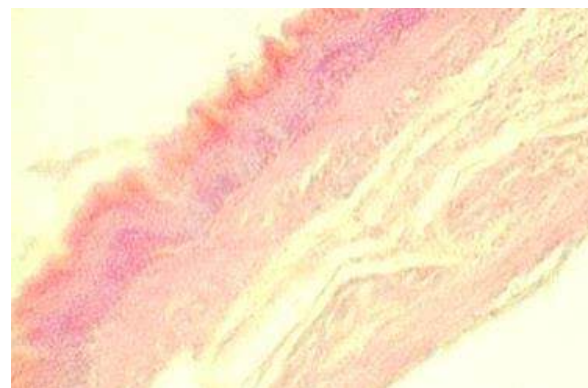


Рисунок 16. Гистологическая структура слизистой оболочки желудка. Отсутствие деструктивных изменений в стенке желудка. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×40

Figure 16. Histological structure the structure of the gastric mucosa. Absence of destructive changes in the stomach wall. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×40

Подслизистая основа представлена волокнами соединительной ткани, слизистая оболочка представлена кардиальными и фундальными железами.

В образцах группы 5 (Контроль) печень сохраняла типичное гистологическое строение.

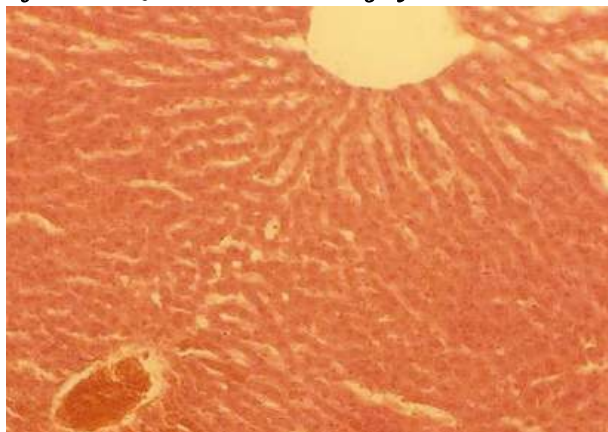


Рисунок 17. Гистологическая структура печени. Кровенаполненные кровеносные сосуды. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×40

Figure 17. Histological structure of the liver. Blood-filled blood vessels. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×40

Балочная и дольчатая структуры сохранены, сосуды всех калибров равномерно кровенаполнены, гепатоциты обычной формы, ближе к центру долек визуализируются единичные клетки с зернами в цитоплазме.

Почка типичного гистологического строения, представлена корковым и мозговым слоем.

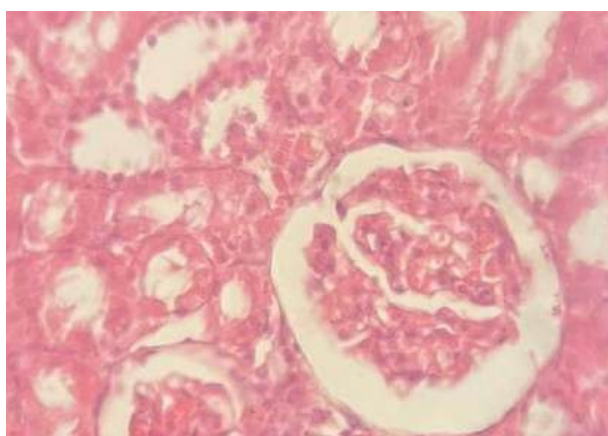


Рисунок 18. Гистологическая структура почки. Свободный просвет извитых канальцев. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×400

Figure 18. Histological structure of the kidney. Free lumen of the convoluted tubules. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×400

Капсула Шумлянського хорошо видна, клубочки сохранного вида, сосудистая сеть умерено кровенаполнена, канальца обыкновенного вида, эпителий канальцев сохранён. Просвет канальцев свободный.

Двенадцатиперстная кишка имеет стандартное гистологическое строение (рисунок 19).

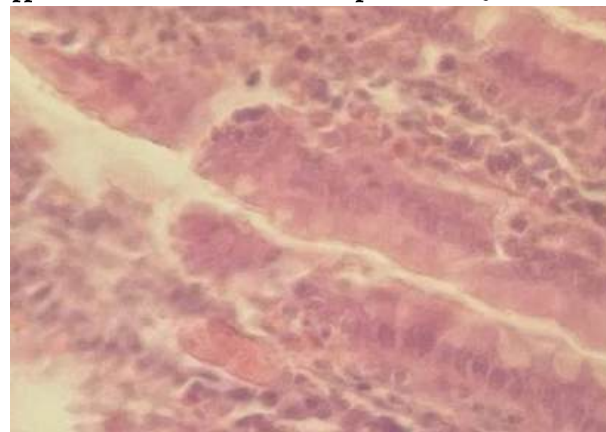


Рисунок 19. Гистологическая структура двенадцатиперстной кишки. Сохранившийся эпителий ворсинок. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×100

Figure 19. Histological structure of the duodenum. The preserved epithelium of the villi. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×100

Ворсины длинные, слабо извитые, крипты средней глубины и глубокие, слабо извитые, визуализируется митотическая активность. Эпителий ворсин сохранного вида, визуализируются бокаловидные энтероциты.

Желудок имеет типичное строение (рисунок 20). Серозная оболочка сохранного вида, мышечная оболочка сохранна, представлена тремя слоями гладких мышечных волокон. Подслизистая основа представлена волокнами соединительной ткани, слизистая оболочка представлена кардиальными и фундальными железами.

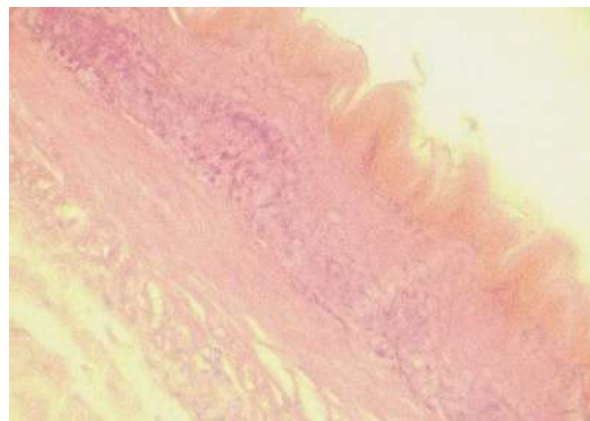


Рисунок 20. Гистологическая структура слизистой оболочки желудка. Отсутствие деструктивных изменений в стенке желудка. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение×40

Figure 20. Histological structure of the gastric mucosa. Absence of destructive changes in the stomach wall. Staining with hematoxylin-eosin. Magnification×40

При проведении морфометрии гепатоцитов в печени выявляли, что диаметр гепатоцитов в контрольной группе и группе 4 не имел существенных различий. В то же время в группах 1,

2 и 3 этот показатель был в среднем на 15,1% меньше, чем в группе 4 и контрольной группе. В данном случае увеличение размеров гепатоцитов могло указывать на активное функционирование печени и более активные процессы депонирования гликогена.

Морфометрия стенки желудка выявила, что в группе 2 толщина слизистой оболочки была наименьшей, различия с группой 5 составили 50,2%. В группах 3, 4 и 5 толщина слизистой оболочки не имела статистически значимых различий. В группе 1 толщина слизистой оболочки меньше, чем в группе 3, 4 и 5 на 8,8%, 12,2% и 13,3% соответственно. Мышечная оболочка имела самую мощную стенку в группе 4. Разница составила в среднем 9,5% относительно группы 3 и 5, а относительно групп 1 и 2 – 25,4 и 40,6% соответственно. Толщина серозной оболочки во всех группах не имела достоверных различий.

При проведении морфометрии двенадцатиперстной кишки учитывалась длина ворсин, ширина ворсин, глубина крипт и ширина крипт. Ворсины наибольшей величины были выявлены в группе 1. Разница относительно группы 1 и 2 составила 19,6% ( $p < 0,01$ ). Ширина ворсин была наименьшей в группе 1. Разница между группой 1 и группой 5 составляла 10,4% ( $p < 0,05$ ). Глубина крипт в группе 4 и группе 5 различалась на 3,4% ( $p < 0,05$ ). Ширина крипт была наименьшей в группе 1 и различалась с группой 5 на 30,6% ( $p < 0,05$ ).

При проведении морфометрии почек было отмечено, что диаметр почечных клубочков различался в 4 и 5 группе на 3,5% ( $p < 0,01$ ),

в то время как в группах 1, 2, 3 различия составляли 19,5 и 26,4% ( $p < 0,01$ ), 13,3% относительно контрольной группы. Диаметр почечных канальцев в исследуемых группах различался менее чем на 5%.

### Заключение

В результате проведенных гистологических и морфометрических исследований было установлено, что в группах 1, 2 и 3 присутствовали различные морфологические изменения – зернистость цитоплазмы гепатоцитов, очажки инфильтрации, десквамация эпителия ворсин, уменьшение длины ворсин в кишечнике. Что свидетельствовало о наличии агрессивного компонента корма, в частности напитков на основе супернатантов из томатов сортов Волгоградский 5/95, Аранж и Бычий Лоб. Несмотря на то, что изменения не носят серьезный характер и являются обратимыми, они могут оказать неблагоприятное влияние на макроорганизм, особенно при длительном использовании, ввиду чего нуждаются в коррекции. В то же время в группе 4 изменений не было выявлено, что в данном случае может указывать на отсутствие неблагоприятного действия, которое было выявлено в группах 1, 2, 3. Следовательно, напитки на основе супернатанта из томатов сорта Чёрное сердце Америки могут быть рекомендованы разным группам населения без существенных ограничений.

### Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00217, <https://rscf.ru/project/23-26-00217/>.

### Литература

- 1 Овсянников Ю. А. Основные направления улучшения питания населения России // АВУ. 2017. №6. С. 77-81.
- 2 Камилов М.К., Камилова П.Д., Камилова З.М., Эминова Э.М. Органическая продукция сельского хозяйства – одно из актуальных направлений экологизации АПК // РППЭ. 2017. № 5. С. 20-30.
- 3 Elvira-Torales LI, Navarro-González I, González-Barrio R, Martín-Pozuelo G et al. Tomato Juice Supplementation Influences the Gene Expression Related to Steatosis in Rats. *Nutrients*. 2018. V. 10. №9. P.1215. doi: 10.3390/nu10091215
- 4 Martín-Pozuelo G, Navarro-González I, González-Barrio R, Santaella M et al. The effect of tomato juice supplementation on biomarkers and gene expression related to lipid metabolism in rats with induced hepatic steatosis. *Eur J Nutr*. 2015. V. 54. №6. P. 933–944. doi: 10.1007/s00394–014–0770–4
- 5 Periago MJ, Martín-Pozuelo G, González-Barrio R, Santaella M, et al. Effect of tomato juice consumption on the plasmatic lipid profile, hepatic HMGCR activity, and fecal short chain fatty acid content of rats. *Food Funct*. 2016. V. 7. №10. P. 4460–4467. doi: 10.1039/c6fo00344c
- 6 García-Alonso FJ, González-Barrio R, Martín-Pozuelo G, Hidalgo N. et al. A study of the prebiotic-like effects of tomato juice consumption in rats with diet-induced non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD). *Food Funct*. 2017. V. 8. №10. P. 3542–3552. doi: 10.1039/c7fo00393e
- 7 Sahin, K., Gencoglu, H., Bilir, B., Kucuk, O. Protective role of lycopene against oxidative stress in liver //The liver. Academic Press.2018. P. 155-167.
- 8 Гребенщиков А.В., Чусова А.Е., Глаголева Л.Э., Корчагин В.И. и др. Изучение состава супернатанта из томатов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 4. С. 57–62.
- 9 Kolman, O. Y., Ivanova, G. V., Glotova, M. V., Perestoronina, A. N. Development of waste-free production technologies for the food industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022.V. 981. № 2. P. 022017.
- 10 Гаджиева А. М., Алиева М. Г. Получение и рациональное использование вторичных ресурсов сырья на основе комплексной переработки томатов //Совершенствование технологических процессов в пищевой промышленности. 2016. С. 37-43.

- 11 KS G., John J. A. Functional beverages: Special focus on anti-diabetic potential //Journal of Food Processing and Preservation. 2021. V. 45. № 11. P.15974.
- 12 Włodarczyk K., Smolińska B., Majak I. Tomato allergy: the characterization of the selected allergens and antioxidants of tomato (*solanum lycopersicum*)—a review //Antioxidants. 2022. V. 11. № 4. P. 644.
- 13 Likidkarnchanakornkij J, Jindatip D, Wannaprasert T. Morphology of the digestive system of the lesser bamboo rat (*Cannomys badius*). Anat Histol Embryol. 2023. V. 52. P. 944-955. doi: 10.1111/ahe.12954
- 14 Shikh E.V., Elizarova E.V., Makhova A.A., Bragina T.V. The role of tomatoes and products from them in healthy human nutrition // Nutrition issues. 2021. V. 90, № 4. P. 129–137.
- 15 Чусова А.Е., Жаркова И.М., Гребенщиков А.В., Коркина А.В. и др. Оценка биологической активности осветленного томатного сока. Сборник научных статей и докладов X Международной научно-технической конференции. Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений. X международная науч.-техн. конф., Воронеж, 2022. С. 80-84.
- 16 Valic M.S., Halim M., Schimmer P., Zheng G. Guidelines for the experimental design of pharmacokinetic studies with nanomaterials in preclinical animal models. J Control Release. 2020. V. 323. P.83-101. doi: 10.1016/j.jconrel.2020.04.002
- 17 Иванова Н. Н., Хомич Л. М., Бекетова Н. А. Нутриентный профиль томатного сока. Вопросы питания. 2018. Т. 87. № 2. С. 53-64. doi:10.24411/0042-8833-2018-10019
- 18 Dai T., McClements DJ., Niu X., Guo X. et al. Whole tomato juice produced by a novel industrial-scale microfluidizer: Effect on physical properties and in vitro lycopene bioaccessibility. Food Res Int. 2022. V. 159 P. 111608. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111608
- 19 Wu X, Yu L, Pehrsson P.R. Are Processed Tomato Products as Nutritious as Fresh Tomatoes? Scoping Review on the Effects of Industrial Processing on Nutrients and Bioactive Compounds in Tomatoes. Adv Nutr. 2022. V. 13(1) P. 138-151. doi: 10.1093/advances/nmab109
- 20 Landrier JF, Breniere T, Sani L, Desmarchelier C. et al. Effect of tomato, tomato-derived products and lycopene on metabolic inflammation: from epidemiological data to molecular mechanisms. Nutr Res Rev. 2023 V. 18 P.1-17. doi: 10.1017/S095442242300029X

## References

- 1 Ovsyannikov Yu. A. The main directions of improving the nutrition of the Russian population // AVU. 2017. no. 6. pp. 77-81. (in Russian).
- 2 Kamilov M.K., Kamilova P.D., Kamilova Z.M., Eminova E.M. Organic agricultural products are one of the topical directions of agro-industrial complex ecologization. 2017. no. 5. pp. 20-30. (in Russian).
- 3 Elvira-Torales LI, Navarro-González I, González-Barrio R, Martín-Pozuelo G. et al. Tomato Juice Supplementation Influences the Gene Expression Related to Steatosis in Rats. Nutrients. 2018. Vol. 10. no. 9. pp. 1215. doi: 10.3390/nu10091215
- 4 Martín-Pozuelo G, Navarro-González I, González-Barrio R, Santaella M, et al. The effect of tomato juice supplementation on biomarkers and gene expression related to lipid metabolism in rats with induced hepatic steatosis. Eur J Nutr. 2015. Vol. 54. no.6. pp. 933–944. doi: 10.1007/s00394-014-0770-4
- 5 Periago MJ, Martín-Pozuelo G, González-Barrio R, Santaella M et al. Effect of tomato juice consumption on the plasmatic lipid profile, hepatic HMGCR activity, and fecal short chain fatty acid content of rats. Food Funct. 2016. Vol. 7. no. 10. pp. 4460–4467. doi: 10.1039/c6fo00344c.
- 6 García-Alonso FJ, González-Barrio R, Martín-Pozuelo G, Hidalgo N et al. A study of the prebiotic-like effects of tomato juice consumption in rats with diet-induced non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD). Food Funct. 2017. Vol. 8(10). pp. 3542–3552. doi: 10.1039/c7fo00393e
- 7 Sahin, K., Gencoglu, H., Bilir, B., Kucuk, O. Protective role of lycopene against oxidative stress in liver //The liver. Academic Press.2018. pp. 155-167.
- 8 Grebenshchikov A.V., Chusova A.E., Glagoleva L.E., Korchagin V.I. et al. Studying the composition of a tomato supernatant // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2023. Vol. 85. no. 4. pp. 57–62. (in Russian).
- 9 Kolman, O. Y., Ivanova, G. V., Glotova, M. V., Perestoronina, A. N. Development of waste-free production technologies for the food industry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 981. no. 2, pp. 022017.
- 10 Gadzhieva A. M., Aliyeva M. G. Obtaining and Rational Use of Secondary Raw Material Resources Based on the Comprehensive Processing of Tomatoes // Improvement of Technological Processes in the Food Industry. 2016. pp. 37-43 (in Russian).
- 11 KS G., John J. A. Functional beverages: Special focus on anti-diabetic potential //Journal of Food Processing and Preservation. 2021. Vol. 45. no. 11. pp.15974.
- 12 Włodarczyk K., Smolińska B., Majak I. Tomato allergy: the characterization of the selected allergens and antioxidants of tomato (*solanum lycopersicum*)—a review //Antioxidants. 2022. Vol. 11. no. 4. pp. 644
- 13 Likidkarnchanakornkij J, Jindatip D, Wannaprasert T. Morphology of the digestive system of the lesser bamboo rat (*Cannomys badius*). Anat Histol Embryol. 2023. Vol. 52. pp. 944-955. doi: 10.1111/ahe.12954
- 14 Shikh E.V., Elizarova E.V., Makhova A.A., Bragina T.V. The role of tomatoes and products from them in healthy human nutrition// Nutrition issues. 2021. Vol. 90, no. 4. pp. 129–137. (in Russian).
- 15 Chusova A.E., Zharkova I.M., Grebenshchikov A.V., Korkina A.V. Assessment of the biological activity of clarified tomato juice the collection: New in technology and technology of functional food products based on biomedical views. Voronezh, 2022. pp. 80–84.
- 16 Valic M.S., Halim M., Schimmer P., Zheng G. Guidelines for the experimental design of pharmacokinetic studies with nanomaterials in preclinical animal models. J Control Release. 2020. Vol. 10. no. 323. pp. 83-101. doi: 10.1016/j.jconrel.2020.04.002
- 17 Ivanova N.N., Khomich L.M., Beketova N.A. Tomato juice nutritional profile. Vopr Pitan. 2018. Vol. 87(2). pp. 53-64. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10019 (in Russian).

18 Dai T., McClements D.J., Niu X., Guo X. et al. Whole tomato juice produced by a novel industrial-scale microfluidizer: Effect on physical properties and in vitro lycopene bioaccessibility. Food Res Int. 2022. Vol. 159. pp. 111608. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111608

19 Wu X, Yu L, Pehrsson PR. Are Processed Tomato Products as Nutritious as Fresh Tomatoes? Scoping Review on the Effects of Industrial Processing on Nutrients and Bioactive Compounds in Tomatoes. Adv Nutr. 2022. Vol. 13(1). pp. 138-151. doi: 10.1093/advances/nmab109

20 Landrier JF, Breniere T, Sani L, Desmarchelier C. et al. Effect of tomato, tomato-derived products and lycopene on metabolic inflammation: from epidemiological data to molecular mechanisms. Nutr Res Rev. 2023 Vol. 18 pp.1-17. doi: 10.1017/S095442242300029X

#### Сведения об авторах

**Андрей В. Гребенщиков** к.в.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, serafim10@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0443-9809>

**Алла Е. Чусова** к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

**Виктория А. Иванова** обучающийся, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, viktoriiivanova@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-1405-9327>

**Алена А. Пронкина** обучающийся, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, pronkinaalena12@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8183-6082>

**Олеся П. Проскурина** к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, proskurina-bio@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7963-1646>

**Людмила И. Василенко** к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции 19, Воронеж, 394036, Россия, vli2008@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4038-0549>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Andrey V. Grebenshchikov** Cand. Sci. (Veterinary), assistant professor, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, serafim10@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0443-9809>

**Alla E. Chusova** Cand. Sci. (Technical), assistant professor, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

**Victoria A. Ivanova** Student, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, viktoriiivanova@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-1405-9327>

**Alyona A. Pronkina** Student, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, pronkinaalena12@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8183-6082>

**Olesya P. Proskurina** Cand. Sci. (Technical), assistant professor, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, proskurina-bio@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7963-1646>

**Lyudmila I. Vasilenko** Cand. Sci. (Technical), assistant professor, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vli2008@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4038-0549>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 22/10/2024 | После редакции 15/11/2024      | Принята в печать 29/11/2024 |
| Received 22/10/2024  | Accepted in revised 15/11/2024 | Accepted 29/11/2024         |

## Прогнозирование развития технологических процессов на примере ведущего оборудования линии производства конфет вафель с начинкой

|                      |              |                                                                    |                                                                                                         |
|----------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Юлия В. Устинова     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:yul48888048@ya.ru">yul48888048@ya.ru</a>           |  0000-0002-1649-889  |
| Максим В. Просин     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:prosinmv@yandex.ru">prosinmv@yandex.ru</a>         |  0000-0002-1649-889  |
| Дмитрий М. Бородулин | <sup>1</sup> | <a href="mailto:borodulin@rgau-msha.ru">borodulin@rgau-msha.ru</a> |  0000-0003-3035-0354 |
| Денис В. Доня        | <sup>1</sup> | <a href="mailto:doniadv@rambler.ru">doniadv@rambler.ru</a>         |  0000-0002-5818-0804 |

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия

**Аннотация.** В статье представлено научно-техническое прогнозирование модернизации технологических процессов производства конфет вафель с начинкой. Проведенные исследования направлены на улучшение характеристик оборудования для нанесения начинки на вафельные листы, что играет ключевую роль в повышении качества выпускаемой продукции. В работе используется модель «черного ящика», которая структурирует процесс по входным (управляющие и возмущающие) и выходным (управляемые и наблюдаемые) параметрам. Метод экспертного оценивания позволил выявить 13 ключевых факторов, влияющих на качество продукции. Наиболее значимыми факторами определены влажность начинки, качество полуфабрикатов и влажность готовых вафель с начинкой. Для оценки целесообразности модернизации оборудования выполнен анализ технического уровня конструкции, который составил 0,67, что свидетельствует о перспективности предлагаемых изменений. Предложенные модификации оборудования направлены на повышение автоматизации процесса, улучшение равномерности нанесения начинки и снижение энергозатрат. Кроме того, в работе рассматривается влияние условий окружающей среды, качества сырья и технического состояния оборудования на технологический процесс. Внедрение модернизированного оборудования демонстрирует значительное улучшение качества продукции, снижение себестоимости и соответствие санитарным нормам. Результаты исследования имеют важное значение для развития пищевой промышленности, так как способствуют автоматизации процессов, обеспечению экологической безопасности и соответствию продукции санитарным нормам. Материалы статьи будут полезны для инженеров, технологов и ученых, занимающихся разработкой и совершенствованием оборудования в пищевой промышленности. Представленные результаты также могут найти применение в практике предприятий, ориентированных на повышение эффективности производственных процессов.

**Ключевые слова:** прогнозирование, вафли, начинка, конфетная масса, «черный ящик».

## Forecasting the development of technological processes using the example of the leading equipment of the candy waffle production line with filling

|                     |              |                                                                    |                                                                                                           |
|---------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yulia V. Ustinova   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:yul48888048@ya.ru">yul48888048@ya.ru</a>           |  0000-0002-1649-889  |
| Maksim V. Prosin    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:prosinmv@yandex.ru">prosinmv@yandex.ru</a>         |  0000-0002-1649-889  |
| Dmitry M. Borodulin | <sup>1</sup> | <a href="mailto:borodulin@rgau-msha.ru">borodulin@rgau-msha.ru</a> |  0000-0003-3035-0354 |
| Denis V. Donya      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:doniadv@rambler.ru">doniadv@rambler.ru</a>         |  0000-0002-5818-0804 |

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University, 49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia

**Abstract.** The article presents scientific and technical forecasting for the modernization of technological processes in the production of candy waffles with filling. The conducted research focuses on improving the characteristics of equipment used for applying filling to waffle sheets, which plays a key role in enhancing product quality. The study utilizes a "black box" model to structure the filling application process based on four groups of parameters: controlling, controlled, disturbing, and observable. The expert evaluation method identified 13 key factors influencing product quality. Among the most significant factors are the humidity of the filling, the quality of semi-finished products, and the humidity of the finished waffles with filling. To assess the feasibility of equipment modernization, an analysis of the technical level of the machine's design was conducted, resulting in a score of 0.67. This indicates the viability and relevance of the proposed changes. The proposed modifications to the equipment aim to increase process automation, improve the uniformity of filling application, reduce energy consumption, and ensure compliance with sanitary standards. Additionally, the article examines the impact of environmental conditions, raw material quality, and equipment technical condition on the technological process. The implementation of modernized equipment demonstrated significant improvements in product quality, reduced production costs, and adherence to sanitary regulations. The research findings are of great importance for the development of the food industry. They contribute to the automation of production processes, ensure environmental safety, and enhance product competitiveness. The materials of the article will be valuable for engineers, technologists, and researchers involved in the development and improvement of equipment in the food industry, as well as for enterprises aiming to increase the efficiency of their production processes.

**Keywords:** forecasting, waffles, filling, candy mass, "black box".

### Для цитирования

Устинова Ю.В., Просин М.В., Бородулин Д.М., Доня Д.В. Прогнозирование развития технологических процессов на примере ведущего оборудования линии производства конфет вафель с начинкой // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 68–74. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-68-74

### For citation

Ustinova Y.V., Prosin M.V., Borodulin D.M., Donya D.V. Forecasting the development of technological processes using the example of the leading equipment of the candy waffle production line with filling. Vestnik VGUI [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 68–74. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-68-74

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Современные условия рыночной экономики требуют постоянного совершенствования производственных процессов и повышения качества продукции. В условиях глобальной конкуренции развитие малых и средних предприятий становится важным элементом экономической стабильности, так как такие предприятия обладают высокой гибкостью в адаптации к изменяющимся запросам потребителей. Важным инструментом их успешного развития является внедрение инновационных технологий, которые не только позволяют сократить затраты, но и способствуют созданию продукции с улучшенными характеристиками. Особое значение приобретает модернизация оборудования и разработка новых технологических подходов, которые способны обеспечить предприятиям конкурентные преимущества [1].

Пищевая промышленность, как одна из наиболее значимых отраслей, ориентирована на улучшение качества продукции, расширение ассортимента и снижение себестоимости производства. Для этого внедряются современные методы прогнозирования, автоматизации и цифровизации. Одним из наиболее актуальных направлений исследований в этой сфере является производство вафель с начинкой, которое включает такие важные этапы, как подготовка сырья, нанесение начинки и упаковка готовых изделий. Усовершенствование ключевых узлов технологических линий, в частности оборудования для нанесения начинки, позволяет значительно повысить качество продукции и производительность [1-3].

Для пищевой промышленности критически важны стратегические принципы, направленные на улучшение производственных процессов, повышение качества продукции и обеспечение экологической устойчивости. Основной задачей остается переход от ручного труда к полностью механизированному и автоматизированному технологиям, которые способны значительно повысить производительность и снизить издержки. Для реализации этого необходимо не только увеличить объем высокотехнологичного оборудования, работающего в автоматическом режиме, но и обеспечить его адаптацию к различным видам сырья и продукции. Это создает условия для гибкости производственных процессов и позволяет удовлетворять разнообразные потребности рынка.

Расширение ассортимента и повышение качества продукции являются важными аспектами развития. Рациональная переработка исходного сырья, включая использование возвратных отходов, способствует снижению производственных потерь и улучшению экономической эффективности. Важное значение имеет развитие линейки диетических продуктов, обогащенных

витаминами, детского питания и полуфабрикатов, включая быстрозамороженные овощи, фрукты и готовые блюда, которые не требуют дополнительной кулинарной обработки. Производство такой продукции отвечает современным запросам потребителей, ориентированных на удобство, здоровье и качество [4-6].

Отдельное внимание уделяется упаковочным материалам, которые должны соответствовать требованиям экологической безопасности и быть адаптированы для различных видов продукции – твердых, жидких, сыпучих или вязких. Создание высококачественных упаковочных решений является не только вопросом удобства и сохранности продукции, но и важным фактором конкурентоспособности на рынке. Для обеспечения безопасности продукции на всех этапах её производства требуется строгое соблюдение санитарных и бактериологических норм, начиная с поступления сырья на предприятия и заканчивая упаковкой готовых изделий. Эффективные мероприятия по минимизации влияния вредных производственных факторов позволяют не только улучшить качество продуктов, но и способствуют общей устойчивости и надежности пищевой промышленности [6-7].

## Материалы и методы

Вафли являются мучными кондитерскими изделиями, изготовление которых осуществляется из вафельных листов, содержащих между слоями листов различную начинку. Сами вафельные листы, в зависимости от рецептуры применяемого тоста, делятся на три следующих вида:

- сдобные сахарные, в рецепт которых входят мука высшего сорта, яичные желтки, сахар, жир и молоко;
- полусахарные, в рецепте отсутствует молоко;
- простые, для изготовления которых не используется сахар, молоко, масло и жир.

Производство вафель с начинкой осуществляется на поточных линиях, в которых реализуются непрерывные процессы выпечки вафельных листов, нанесение начинки и резка вафельных листов. Таким образом можно выделить следующие основные стадии приготовления вафель с начинкой:

- подготовка сырья;
- приготовление вафельного теста;
- приготовление начинки;
- приготовление вафельного листа;
- охлаждение вафельного листа;
- нанесение начинки на вафельный лист;
- приготовление вафельных блоков;
- резка вафельных блоков на заготовки;
- упаковка вафель в потребительскую и торговую тару [9].

## Результаты

Было проведено научно-техническое прогнозирование, с целью проанализировать целесообразности изменений в конструкции машины. Для этого составлены операторная модель технологического процесса производства вафель, модель «черного ящика» операции нанесения начинки на вафельный лист. Для удобства структурирования и оценки значимости факторов использован метод экспертного оценивания, результаты отображены в виде матрицы рангов. Разработан ГОСТ для определения уровня технического развития прототипа и усовершенствованной машины для нанесения начинки на вафельный лист.

Исследование характеристик, оказывающих воздействие на выполнение процесса нанесения начинки на вафельный лист, было выполнено с использованием четырех различных параметров, которые являлись управляющими, управляемые, возмущающие и наблюдаемые, а сам технологический процесс нанесения начинки на вафельный лист выполнялся в комбинированной машине, предназначенной для нанесения начинки на вафельный лист. Выявленных показателей, оказывающих влияние на качество обработки полуфабриката, оказалось 13, которые представлены

на рисунке 1. На рисунке представлена модель «черного ящика», применимого для подсистемы образования промежуточного продукта, характеризуемого заданными технологическими параметрами качества.

Модель черного ящика процесса нанесения начинки включает в себя входные (управляющие и возмущающие) и выходные (управляемые и наблюдаемые) параметры.

Входные параметры делятся на:

Управляющие параметры непосредственно влияют на технологический процесс. Их можно измерить и целенаправленно изменить, что позволяет управлять процессом.

Возмущающие параметры – это переменные, которые влияют на ход технологического процесса, но не могут быть изменены целенаправленно.

Выходные параметры включают:

– управляемые параметры: переменные, изменение которых демонстрирует эффективность технологического процесса.

– наблюдаемые параметры: переменные, которые косвенно связаны с характером процесса и отражают состояние исследуемого объекта.

Входные параметры являются внешними по отношению к процессу, в то время как выходные параметры являются внутренними.

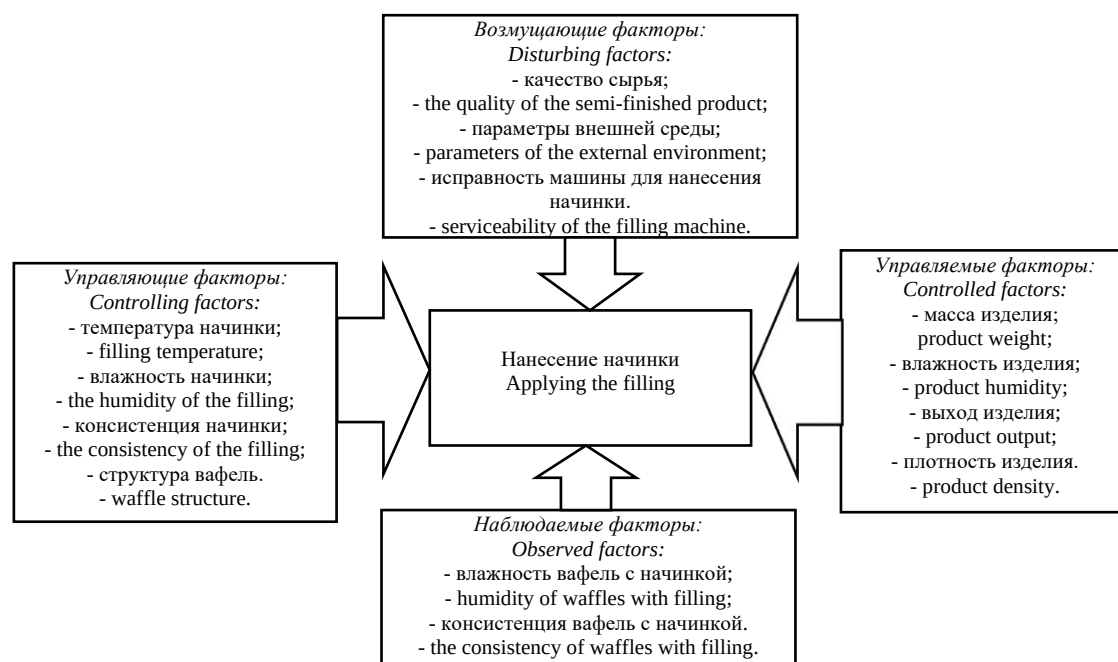


Рисунок 1. Модель «черного ящика»

Figure 1. The "black box" model

К *управляющим* параметрам рассматриваемого технологического процесса можно отнести следующие параметры:

- температура начинки;
- влажность начинки;
- консистенция начинки;
- структура вафель.

К *управляемым* параметрам рассматриваемого технологического процесса можно отнести следующие параметры:

- масса изделия;
- влажность изделия;
- выход изделия;
- плотность изделия.

К возмущающим параметрам рассматриваемого технологического процесса можно отнести следующие параметры:

- качество сырья;
- параметры внешней среды;
- исправность машины для нанесения начинки.

К наблюдаемым параметрам рассматриваемого технологического процесса можно отнести следующие параметры:

- влажность вафель с начинкой;
- консистенция вафель с начинкой [10].

При рассмотрении черного ящика (рисунок 1), 6 экспертов дали оценку от 1 до 13, расставив факторы по значимости для процесса нанесения начинки (таблица 1).

Таблица 1.

## Результаты экспертного опроса

Table 1.

## The results of the expert survey

| Фактор<br>The factor                                                  | Эксперты   Experts                   |    |    |    |    |    | Сумма рангов<br>Sum of the ranks | Максимальный ранг<br>Maximum rank | Минимальный ранг<br>Minimum rank | Средняя сумма рангов<br>Average sum of ranks | Отклонение суммы рангов<br>Deviation of the sum of ranks | Квадрат отклонения<br>суммы рангов<br>Square of the deviation of the sum<br>of ranks | Занимаемое место<br>Occupied place | Вес факторов<br>Weight of factors |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----|----|----|----|----|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                       | 1                                    | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |                                  |                                   |                                  |                                              |                                                          |                                                                                      |                                    |                                   |
|                                                                       | Ранги оценки<br>Grades of assessment |    |    |    |    |    |                                  |                                   |                                  |                                              |                                                          |                                                                                      |                                    |                                   |
| Качество полуфабриката<br>Quality of semi-finished product            | 11                                   | 13 | 13 | 7  | 5  | 10 | 59                               | 13                                | 5                                | 42                                           | 17                                                       | 289                                                                                  | 12                                 | 0,022                             |
| Параметры внешней среды<br>Parameters of external environment         | 2                                    | 5  | 4  | 13 | 10 | 13 | 47                               | 13                                | 2                                | 42                                           | 5                                                        | 25                                                                                   | 9                                  | 0,055                             |
| Исправность машины<br>Serviceability of the machine                   | 1                                    | 10 | 3  | 6  | 4  | 1  | 23                               | 10                                | 1                                | 42                                           | -17                                                      | 289                                                                                  | 3                                  | 0,121                             |
| Масса изделия<br>Product weight                                       | 8                                    | 2  | 7  | 3  | 3  | 12 | 35                               | 12                                | 2                                | 42                                           | -7                                                       | 49                                                                                   | 5                                  | 0,099                             |
| Выход изделия<br>Product output                                       | 7                                    | 4  | 9  | 10 | 7  | 9  | 46                               | 10                                | 4                                | 42                                           | 4                                                        | 16                                                                                   | 8                                  | 0,066                             |
| Влажность изделия<br>Product humidity                                 | 9                                    | 3  | 8  | 11 | 11 | 11 | 53                               | 11                                | 3                                | 42                                           | 11                                                       | 121                                                                                  | 10                                 | 0,044                             |
| Плотность изделия<br>Product density                                  | 6                                    | 1  | 2  | 2  | 6  | 6  | 23                               | 6                                 | 1                                | 42                                           | -19                                                      | 361                                                                                  | 2                                  | 0,132                             |
| Влажность вафель с начинкой<br>Humidity of waffles with filling       | 10                                   | 9  | 12 | 9  | 9  | 7  | 56                               | 12                                | 7                                | 42                                           | 14                                                       | 196                                                                                  | 11                                 | 0,033                             |
| Консистенция вафель с начинкой<br>Consistency of waffles with filling | 5                                    | 6  | 5  | 4  | 2  | 8  | 30                               | 8                                 | 2                                | 42                                           | -12                                                      | 144                                                                                  | 4                                  | 0,11                              |
| Температура начинки<br>Filling temperature                            | 12                                   | 8  | 11 | 5  | 8  | 2  | 46                               | 12                                | 2                                | 42                                           | 4                                                        | 16                                                                                   | 7                                  | 0,077                             |
| Влажность начинки<br>Filling humidity                                 | 13                                   | 12 | 10 | 12 | 13 | 5  | 65                               | 13                                | 5                                | 42                                           | 23                                                       | 529                                                                                  | 13                                 | 0,011                             |
| Консистенция начинки<br>The consistency of the filling                | 4                                    | 11 | 1  | 1  | 1  | 3  | 21                               | 11                                | 1                                | 42                                           | -21                                                      | 441                                                                                  | 1                                  | 0,143                             |
| Структура вафель<br>Waffle structure                                  | 3                                    | 7  | 6  | 8  | 12 | 4  | 40                               | 12                                | 3                                | 42                                           | -2                                                       | 4                                                                                    | 6                                  | 0,088                             |

Шести опрошенным экспертам было предложено оценить 13 факторов, оказывающих влияние на разделение конфетной массы в агрегате для резки конфетной массы. Выявление значимости весомости этих критериев осуществлялось по 13-бальной шкале, в которой наиболее значимый показатель приравнивается единице [11].

Расчет параметров для полученных факторов [12, 14]:

- сумма рангов  $S_i$

$$S_i = \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad (1)$$

- среднее значение сумм рангов  $L$

$$L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \quad (2)$$

- сумма квадратов отклонений  $S$

$$S = \sum_{i=1}^n (S_i - L)^2, \quad (3)$$

- коэффициент конкордации  $W$

$$W = \frac{13S}{m^2(n^3 - n)}. \quad (4)$$

### Обсуждение

В результате расчетов был получен коэффициент конкордации, равный 0,94. Однако, при полной согласованности мнений экспертов в части выявления значимости влияния факторов данный коэффициент должен быть равен единице [13, 15-16].

Наглядное отображение ранжирования мнений экспертов представлено в виде гистограммы на рисунке 2.

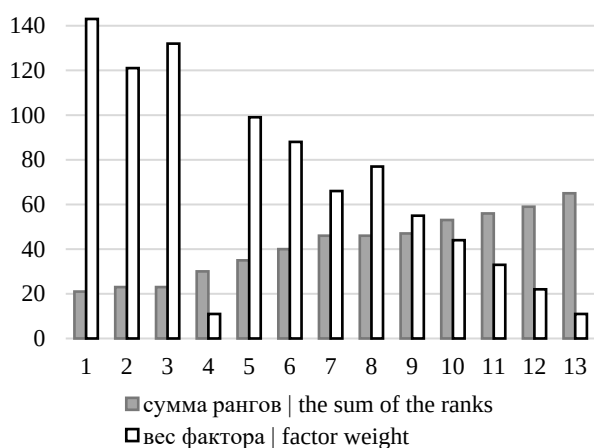


Рисунок 2. Гистограмма рангов

Figure 2. A histogram of ranks

Присвоим порядковый номер для каждой суммы рангов, при этом нумерацию будем осуществлять по возрастанию. Таким образом,

получим, что чем выше сумма ранга, тем более значимое влияние оказывается на технологический процесс нанесения начинки. Анализируя полученную гистограмму на рисунке 2 видно, что все рассмотренные факторы условно делятся на три группы, первая группа: факторы с 1 по 3; вторая – с 4 по 9; третья – с 10 по 13.

По результатам экспертных оценок при ранжировании факторов (рисунок 2) удалось выделить 3 основных фактора, влияющих на процесс. Это влажность начинки, качество полуфабрикатов и влажность вафель с начинкой.

Перспективность модернизации оборудования можно определить с помощью генеральной определительной таблицы. Она позволяет понять технический уровень структуры подсистемы, который равен  $Уэл = 0,67$ . Технический уровень элемента входит в предел от 0,60 до 0,79, соответственно, данная модернизация является перспективной [17-20].

### Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что в технологическом процессе нанесения начинки на вафельный лист к существенным факторам можно отнести следующие три фактора: влажность начинки, качество полуфабрикатов и влажность вафель с начинкой. Также установлена перспективность модернизации оборудования для процесса нанесения начинки на вафельный лист.

### Литература

- 1 Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики". URL: [https://issek.hse.ru/data/2017/05/03/1171421726/Prognoz APK\\_2030.pdf](https://issek.hse.ru/data/2017/05/03/1171421726/Prognoz APK_2030.pdf)
- 2 Магомедов Г.О., Олейникова А.Я., Журавлев А.А., Шевякова Т.А. Мягкие вафли с начинкой на основе тыквенного пюре // Вестник ВГУИТ. 2013. № 2 (56). С. 115-118.
- 3 Пат. № 2608729, RU, A23L 2/52. Способ получения инстант-продуктов на основе концентратов плодово-ягодных соков, содержащих различные функциональные добавки / В.В. Тихонов, Н.В. Тихонов, И.Н. Тихонова. № 2014141885; Заявл. 16.10.2014; Опубл. 23.01.2017.
- 4 Скобельская З.Г., Балыхин М.Г., Хасанова С.Д., Гинс М.С. Применение амарантовой муки в производстве вафельных листов повышенной пищевой ценности. Достижения науки и техники АПК. № 34 (6). С. 92-96. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10618
- 5 Aussanasuwannakul A, Puntaburt K, Pantao T. Enhancing Gluten-Free Crispy Waffles with Soybean Residue (Okara) Flour: Rheological, Nutritional, and Sensory Impacts. Foods. 2024. №13(18). P. 2951. doi:10.3390/foods13182951
- 6 Bochkaryov P. Yu., Korolev R.D., Bokova L.G. Comprehensive Assessment of the Manufacturability of Products. Advanced Engineering Research. 2023. № 23(2). P. 155-168. doi.org:10.23947/2687-1653-2023-23-2-155-168
- 7 Базров Б.М. Обеспечение технологичности конструкций изделий. Научные технологии в машиностроении. 2020. №8(110). С. 18-22. doi:10.30987/2223-4608-2020-8-18-22
- 8 Чернецов А.Н. Методы технологического прогнозирования // Вестник науки. 2019. № 6 (15). С. 124-129.
- 9 Скобельская З. Г., Гончарук И. В., Соловарова А. Е. Расширение ассортимента вафель профилактического назначения // Пищевая промышленность. 2016. № 9. С. 20-22.
- 10 Резниченко И. Ю., Агеенко Д. Д., Щеглов М. С. Анализ качества мучных кондитерских изделий с использованием метода развертывания функции качества // Ползуновский вестник. 2022. № 2. С. 42-50.
- 11 Горький А.С. Система оценки и прогнозирования перспектив развития региональных промышленных систем с учетом инновационно-технологического фактора // Вестник Самарского университета. Т. 14. № 3. С. 50-58. doi:10.18287/2542-0461-2023-14-3-50-58
- 12 Качанова Л.С. Методика прогнозирования и сценарии развития технологических процессов производства и применения органических удобрений в аграрном секторе экономики // Инновации и инвестиции. 2018. № 7. С.107-110.

- 13 Сряков Г.Н. Развитие методологических аспектов прогнозирования процессов развития нового технологического уклада экономики // Вестник Полоцкого государственного университета. 2018. № 6. С. 86-93.
- 14 Smolikhina P.M., Muratova E.I., Dvoretzky S.I. The study of structure formation processes in the confectionery mass // *Advanced Materials & Technologies*. 2016. № 2. P. 43-47.
- 15 Ho, T.T., Tran L. V., Tran H. M., Dao S.V. Machine Learning in Demand Forecasting. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*. 2022. V. 7. № 3. P. 225–233.
- 16 Ho T.T., Tran L.V., Tran H.M., Dao, S.V. Machine Learning in Demand Forecasting. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*. 2024. V.6. №1. doi:0.36948/ijfmr.2024.v06i01.14204
- 17 Garre, A., Ruiz, M.C., Hontoria, E. Application of Machine Learning to support production planning of a food industry in the context of waste generation under uncertainty. *Operations Research Perspectives*. №7. P. 100147. doi: 10.1016/j.orp.2020.100147
- 18 Sacco R., Guidoboni G., Mauri A.G. A Comprehensive Physically Based Approach to Modeling in Bioengineering and Life Sciences, Academic Press. 2019. P. 805–817. doi:10.1016/B978-0-12-812518-2.00047-0
- 19 Hassija, V., Chamola, V., Mahapatra, A. Interpreting Black-Box Models: A Review on Explainable Artificial Intelligence. *Cogn Comput*. 2024. № 16. P. 45–74. doi:10.1007/s12559-023-10179-8
- 20 Singh, P., Ban, Y. G., Kashyap, L., Siraree, A. Sugar and sugar substitutes: recent developments and future prospects. *Sugar and sugar derivatives: changing consumer preferences*. 2020. P. 39-75.

## References

- 1 Forecast of scientific and technological development of the agro-industrial complex of the Russian Federation for the period up to 2030. National Research University "Higher School of Economics". URL: [https://issek.hse.ru/data/2017/05/03/1171421726/Prognoz\\_APK\\_2030.pdf](https://issek.hse.ru/data/2017/05/03/1171421726/Prognoz_APK_2030.pdf)
- 2 Magomedov G.O., Oleinikova A.Ya., Zhuravlev A.A., Shevyakova T.A. Soft waffles with pumpkin puree filling // *Vestnik VGUIT*. 2013. no. 2 (56). pp. 115-118. (in Russian).
- 3 V.V. Tikhonov, N.V. Tikhonov, I.N. Tikhonova. A method for obtaining instant products based on fruit and berry juice concentrates containing various functional additives. Patent RF, no. 2608729, 2017. (in Russian).
- 4 Skobelskaya Z.G., Balykhin M.G., Khasanova S.D., Gins M.S. The use of amaranth flour in the production of wafer sheets of increased nutritional value. *Achievements of science and technology of the agroindustrial complex*. no. 34 (6). pp. 92-96. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10618 (in Russian).
- 5 Aussanasuwannakul A, Puntaburt K, Pantoa T. Enhancing Gluten-Free Crispy Waffles with Soybean Residue (Okara) Flour: Rheological, Nutritional, and Sensory Impacts. *Foods*. 2024. no. 13(18). pp. 2951. doi:10.3390/foods13182951(in Russian).
- 6 Bochkaryov P. Yu., Korolev R.D., Bokova L.G. Comprehensive Assessment of the Manufacturability of Products. *Advanced Engineering Research*. 2023. no. 23(2). pp. 155–168. doi: 10.23947/2687-1653-2023-23-2-155-168
- 7 Bazrov B.M. Ensuring the manufacturability of product designs. *High-tech technologies in mechanical engineering*. 2020. no.8(110). pp. 18-22. doi:10.30987/2223-4608-2020-8-18-22 (in Russian).
- 8 Chernetsov A.N. Methods of technological forecasting // *Bulletin of Science*. 2019. no. 6 (15). pp. 124-129. (in Russian).
- 9 Skobelskaya Z. G., Goncharuk I. V., Solovarova A. E. Expanding the range of wafers for preventive purposes // *The food industry*. 2016. no. 9. pp. 20-22. (in Russian).
- 10 Reznichenko I. Yu., Ageenko D. D., Shcheglov M. S. Quality analysis of flour confectionery products using the method of deploying the quality function // *Polzunovsky Bulletin*. 2022. no. 2. pp. 42-50. (in Russian).
- 11 Gorky A.S. A system for assessing and forecasting the prospects for the development of regional industrial systems taking into account the innovation and technological factor // *Bulletin of Samara University*. Vol. 14. no. 3. pp. 50-58. doi:10.18287/2542-0461-2023-14-3-50-58 (in Russian).
- 12 Kachanova L.S. Methods of forecasting and scenarios for the development of technological processes for the production and use of organic fertilizers in the agricultural sector of the economy // *Innovations and investments*. 2018. no. 7. pp.107-110. (in Russian).
- 13 Seryakov G.N. The development of methodological aspects of forecasting the development of a new technological structure of the economy // *Bulletin of the Polotsk State University*. 2018. no. 6. pp. 86-93. (in Russian).
- 14 Smolikhina P.M., Muratova E.I., Dvoretzky S.I. The study of structure formation processes in the confectionery mass // *Advanced Materials & Technologies*. 2016. no. 2. pp. 43-47. (in Russian).
- 15 Ho, T.T., Tran L. V., Tran H. M., Dao S.V. Machine Learning in Demand Forecasting. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*. 2022. Vol. 7. no. 3. pp. 225–233.
- 16 Ho, T.T., Tran, L.V., Tran, H.M., & Dao, S.V. Machine Learning in Demand Forecasting. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*. 2024. Vol.6. no.1. doi: 0.36948/ijfmr.2024.v06i01.14204
- 17 Garre, A., Ruiz, M.C., & Hontoria, E. Application of Machine Learning to support production planning of a food industry in the context of waste generation under uncertainty. *Operations Research Perspectives*. 2020. no. 7. pp. 100147. doi:10.1016/j.orp.2020.100147
- 18 Sacco R., Guidoboni G., Mauri A.G. A Comprehensive Physically Based Approach to Modeling in Bioengineering and Life Sciences, Academic Press. 2019. pp. 805–817. doi:10.1016/B978-0-12-812518-2.00047-0
- 19 Hassija, V., Chamola, V., Mahapatra, A. Interpreting Black-Box Models: A Review on Explainable Artificial Intelligence. *Cogn Comput*. 2024. no. 16. pp. 45-74. doi:10.1007/s12559-023-10179-8
- 20 Singh, P., Ban, Y. G., Kashyap, L., Siraree, A. Sugar and sugar substitutes: recent developments and future prospects. *Sugar and sugar derivatives: changing consumer preferences*. 2020. pp. 39-75.

#### Сведения об авторах

**Юлия В. Устинова** к.т.н., доцент, кафедра технологии хранения и переработки продуктов животноводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, yul48888048@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1649-889>

**Максим В. Просин** к.т.н., доцент, кафедра процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, prosinmv@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1649-889>

**Дмитрий М. Бородулин** д.т.н., профессор, кафедра технологии хранения и переработки продуктов животноводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, borodulin@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

**Денис В. Дonya** к.т.н., доцент, кафедра процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, doniadv@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5818-0804>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Yulia V. Ustinova** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of technology of storage and processing of animal products, Russian State Agrarian University, 49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russia, yul48888048@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1649-889>

**Maksim V. Prosin** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Processes and Apparatuses of Processing Industries, Russian State Agrarian University, 49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russia, prosinmv@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1649-889>

**Dmitry M. Borodulin** Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of technology of storage and processing of animal products, Russian State Agrarian University, 49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russia, borodulin@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

**Denis V. Donya** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Processes and Apparatuses of Processing Industries, Russian State Agrarian University, 49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russia, doniadv@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5818-0804>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                             |                                       |                                    |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Поступила</b> 21/10/2024 | <b>После редакции</b> 14/11/2024      | <b>Принята в печать</b> 28/11/2024 |
| <b>Received</b> 21/10/2024  | <b>Accepted in revised</b> 14/11/2024 | <b>Accepted</b> 28/11/2024         |

## Увеличение содержания каротиноидов в биомассе *Vischeria Punctata* Vischer при культивировании в лабораторном биореакторе

Татьяна А. Кузнецова<sup>1</sup> [kuznetsova.ta1@spbstu.ru](mailto:kuznetsova.ta1@spbstu.ru)  0000-0003-0162-0896

Маруф Х. Мустафакулов<sup>1</sup> [marufbekmmxmr@gmail.com](mailto:marufbekmmxmr@gmail.com)  0009-0004-4324-5646

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт биомедицинских систем и биотехнологий, ул. Новороссийская, 48, г. Санкт-Петербург, 184021, Россия

**Аннотация.** Микроводоросли *Vischeria punctata* Vischer, штамм IPPAS H-242 (ИФР РАН им. К.А. Тимирязева) культивировали в лабораторном фотобиореакторе, наилучшей средой для выхода биомассы стала среда Болда. Внесение в среду Болда цианокобаламина и тиамин не привели к увеличению выхода биомассы. Для увеличения содержания каротиноидов в биомассе микроводорослей было использовано дозированное воздействие различных концентраций перекиси водорода: от 0,1 до 0,3 мл/л суспензии микроводорослей. Одновременно с перекисью водорода в суспензию вносили пиридоксин в концентрации 50 мг/л. Перекись и пиридоксин вносились каждые двое суток при культивировании *V. punctata*, которое продолжалось 10 суток. Добавки перекиси водорода приводят к снижению продолжительности экспоненциальной фазы роста в вариантах с внесением перекиси водорода 0,1 и 0,2 мл/л на 1 сутки, с внесением перекиси водорода 0,3 мл/л на 2 суток. Также в ответ на стрессовое воздействие отмечено уменьшение средних размеров клеток в популяции. В варианте с концентрацией перекиси водорода 0,3 мл/л происходит снижение популяционной емкости и содержания суммы каротиноидов в воздушно-сухой биомассе. В вариантах с внесением перекиси водорода 0,1 и 0,2 мл/л отмечено увеличение доли каротиноидов в пигментном комплексе по сравнению с контролем на 18,12±0,20 и 18,92±0,14 % соответственно. Наилучшим вариантом эксперимента стало внесение 0,2 мл перекиси водорода на 1 л суспензии микроводорослей, при этом выход биомассы достоверно не отличался от контрольного варианта, содержание суммы каротиноидов возрастает на 23,1 % по сравнению с контролем и достигает 5,97±0,27 мг/г воздушно-сухой биомассы.

**Ключевые слова:** микроводоросли, *Vischeria punctata*, культивирование, перекись водорода, каротиноиды.

## Increase in carotenoid content in *Vischeria punctata* Vischer biomass during cultivation in a laboratory bioreactor

Tatiana A. Kuznetsova<sup>1</sup> [kuznetsova.ta1@spbstu.ru](mailto:kuznetsova.ta1@spbstu.ru)  0000-0003-0162-0896

Maruf H. Mustafakulov<sup>1</sup> [marufbekmmxmr@gmail.com](mailto:marufbekmmxmr@gmail.com)  0009-0004-4324-5646

<sup>1</sup> Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Institute of Biomedical Systems and Biotechnologies, Novorossiyskaya st., 48, St. Petersburg, 184021, Russia

**Abstract.** Microalgae *Vischeria punctata* Vischer, strain IPPAS H-242 (K.A. Timiryazev Institute of Physiology and Hydrology of the Russian Academy of Sciences) were cultivated in a laboratory photobioreactor; the best medium for biomass yield was Bold's medium. Addition of cyanocobalamin and thiamine to Bold's medium did not lead to an increase in biomass yield. To increase the carotenoid content in the microalgae biomass, dosed exposure to various concentrations of hydrogen peroxide was used: from 0.1 to 0.3 ml/l of microalgae suspension. Pyridoxine at a concentration of 50 mg/l was added to the suspension simultaneously with hydrogen peroxide. Hydrogen peroxide and pyridoxine were added every two days during the cultivation of *V. punctata*, which lasted for 10 days. Hydrogen peroxide additions lead to a decrease in the duration of the exponential growth phase in the variants with the addition of 0.1 and 0.2 ml/l hydrogen peroxide for 1 day, and with the addition of 0.3 ml/l hydrogen peroxide for 2 days. Also, in response to stress, a decrease in the average cell size in the population was noted. In the variant with a hydrogen peroxide concentration of 0.3 ml/l, there is a decrease in the population capacity and the content of the sum of carotenoids in the air-dry biomass. In the variants with the addition of 0.1 and 0.2 ml/l hydrogen peroxide, an increase in the proportion of carotenoids in the pigment complex was noted compared to the control by 18.12±0.20 and 18.92±0.14%, respectively. The best variant of the experiment was the introduction of 0.2 ml of hydrogen peroxide per 1 liter of microalgae suspension, while the biomass yield did not differ significantly from the control variant, the content of the sum of carotenoids increased by 23.1% compared to the control and reached 5.97±0.11 mg/g of air-dry biomass.

**Keywords:** microalgae, *Vischeria punctata*, cultivation, hydrogen peroxide, carotenoids.

### Введение

Микроводоросли относятся к важнейшим возобновляемым ресурсам, источникам биологически активных веществ, таких как белок, углеводы, липиды, антиоксиданты, в том числе и каротиноиды [1]. Метаболизм многих штаммов микроводорослей лабилен. В ответ на дозированное

стрессовое воздействие в биомассе микроводорослей накапливаются липиды, углеводы и антиоксиданты. УФ-излучение [2], изменение кислотности среды, снижение температуры культивирования [3] приводит к накоплению каротиноидов.

Основной способ получения каротиноидов в промышленности — химический синтез [4].

Для цитирования

Кузнецова Т.А., Мустафакулов М.Х. Увеличение содержания каротиноидов в биомассе *Vischeria Punctata* Vischer при культивировании в лабораторном биореакторе // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 87. № 101. С. 75–83. doi:10.20914/2310-1202-2024-101-75-83

For citation

Kuznetsova T.A., Mustafakulov M.X. Increase in carotenoid content in *Vischeria punctata* Vischer biomass during cultivation in a laboratory bioreactor. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 87. no. 101. pp. 75–83. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-101-75-83

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Биотехнологическое получение каротиноидов из микроводорослей связано с недостаточным изучением каротиногеноза и факторов позволяющих увеличить содержание каротиноидов в биомассе без уменьшения ее выхода.

Синтез каротиноидов описан в стромах хлоропластов и на мембранах тилакоидов [5, 6], а также в цитоплазме микроводорослей [6]. Большое внимание обращено на микроводоросли (например, *Chloromonas reticulata* Gobi, *Dunaliella salina*, *Haematococcus pluvialis*, *Scenedesmus almeriensis* [7]), накапливающие вторичные каротиноиды вне хлоропластов – нефотосинтетические пигменты, локализованные во внетилакоидных структурах (липидных глобулах) [1]. В стрессовых условиях накопление вторичных каротиноидов связано с накоплением липидов [7,19]. Каротиноиды выполняют важную светособирающую, структурную функцию [8]. Ксантофиллы виолаксантинового цикла в присутствии активных форм кислорода защищают хлорофиллы и липиды от разрушения и обеспечивают устойчивость тилакоидных мембран при высокой интенсивности света [9].

Активные формы кислорода постоянно генерируются в электронно-транспортных цепях митохондрий и хлоропластов [8]. Молекулы  $H_2O_2$  не заряжены, имеют низкую реакционную способность, в водных растворах они на расстояниях до 1 мкм. В небольших концентрациях молекулы перекиси являются внутриклеточными мессенджерами, в концентрациях от 1 до 50 мМ они токсичны для клеток [2]. Частью антиоксидантных систем являются ферментативные системы, удаляющие активные формы кислорода (супероксиддисмутаза, каталаза и др.), а также полиеновые соединения, к которым относятся каротиноиды [10,18]. Их антиоксидантная активность определяется наличием двойных связей в молекуле. Антиоксидантная активность каротиноидов *in vitro* зависит от содержания активных форм кислорода в среде [8].

*Vischeria punctata* Vischer – пресноводная микроводоросль, обитатель почв [10], неприхотлива при культивировании [11]. Штаммы этой микроводоросли перспективны, так как способны накапливать липиды, незаменимые жирные кислоты [12,20], например эйкозопентоеновую кислоту [11, 13]. Биомасса микроводоросли рассматривается как субстрат для получения биогаза [12]. При культивировании ее на бедных питательными средами эта микроводоросль накапливает экзо- и эндополисахариды [13]. Однако особенности культивирования и метаболизм *V. punctata* до конца не изучены. Биомасса *V. punctata* описана как источник  $\beta$ -каротина (до 5,9% сухого веса) при скорости

производства биомассы до 9,8 г/л [14]. *V. punctata* и родственные ей виды *V. helvetica* и *V. stellata* синтезируют  $\beta$ -кروتин до 50% от общего содержания каротиноидов при культивировании микроводорослей в фотобиореакторе по типу пузырьковой колонки [14]. Микроводоросли рода *Vischeria*, как представитель рода *Eustigmatophyceae*, продуцируют ксантофиллы: виолаксантин, антераксантин и зеаксантин [9].

**Цель работы** – определение режима направленного культивирования микроводорослей *V. punctata* для увеличения содержания каротиноидов в биомассе.

### Материалы и методы

Образцы микроводоросли *V. Punctata* Vischer (штамм IPPAS H-242) была получена из коллекции Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта.

Маточную культуру микроводоросли хранили при температуре от 3 до 4 °С. После шести месяцев хранения маточная культура обновлялась, культивировалась на среде Болда [12] до фазы замедленного роста.

Для культивирования микроводоросли использовали лабораторный биореактор, представляющий собой барботажную колонну объемом 500 мл. Барботирование воздухом в режиме 1,5 л/мин. позволяет перемешивать клеточную суспензию. Определение концентрации клеток при культивировании проводили нефелометрически каждые сутки [5], предварительно суспензию перемешивали. Оптическую плотность определяли спектрофотометром ЮНИКО 1201, при длине волны 750 нм, в кювете сравнения – питательная среда. Для определения оптической плотности каждые сутки отбирали аликвоту (10 мл), до необходимого объема доливали питательную среду. Применение сливно-долиной системы при культивировании микроводорослей позволяет удлинить период экспоненциального роста и увеличить плотность клеток на конец культивирования. Начальная концентрация клеток микроводоросли в питательной среде составляла не более 5 млн кл/мл. Режим освещенности день – 16 часов, ночь – 8 часов, лампа дневного света (ФАР), интенсивность освещенности – 20 кЛк на м<sup>2</sup>, T(K) – 400. Культивирование проводили до фазы стабилизации, когда прекращается рост клеток в популяции микроводорослей. Удельную скорость роста находили по формуле:

$$\mu = \ln(x_2/x_1)/(t_2 - t_1), \quad (1)$$

где  $x_1$  и  $x_2$  – концентрация клеток, млн клеток на мл в момент времени  $t_1$  и  $t_2$ , соответственно.

Полученную при культивировании суспензию микроводорослей отстаивали в течение

двух суток. После отделения питательной среды, сконцентрированную биомассу микроводорослей центрифугировали в режиме – 6000 об/мин в течение 5 минут. Надосадочную жидкость декантировали. Осадок высушивали на воздухе в тёмном месте при Т от 20 до 25 °С до постоянного веса. Хранили воздушно-сухую биомассу в закрытых стерильных ёмкостях при температуре 4–5 °С.

Экстракцию фотосинтетических пигментов проводили 96%-ным этанолом при ультразвуковом облучении на приборе «WiseClean WUC-A06H». Навеску воздушно-сухой биомассы 0,025 г. заливали 10 мл 96%-ного этанола (ГОСТ 5962–2013) и облучали на ультразвуковой ванне «WiseClean WUC-A06H» в режиме 35 кГц, при температуре 40 °С в течение 30 минут. Экстракт отделяли от биомассы центрифугированием в режиме 3500 об/мин в течение 5 минут на приборе СМ-6МТ. Содержание фракций фотосинтетических пигментов в этанольных экстрактах определяли спектрофотометрическим методом [14], определяли оптическую плотность при длинах волн 470 нм (сумма каротиноидов), 649 нм (хлорофилл b), 664 нм (хлорофилл a).

Для оценки состояния популяции клеток при культивировании в разных режимах проводили микроскопирование прижизненных препаратов при увеличении в 640 раз (микроскоп МикМед-6). Микрофотографии делали цифровой камерой IS-500 при использовании компьютерной программы MC-foto. Анализировали не менее 10 полей зрения в каждом варианте, измеряли не менее 50 клеток с помощью программы Levenhuk. Пересчет в микрометры проводили с помощью коэффициента пересчета, для которого проводили измерения объект-микрометра (ОМП, 0,01 мм, ГОСТ 7513–55).

Полученные результаты статистически обрабатывались: находили среднее значение и ошибку средней. Достоверность отличий определяли, пользуясь критерием Стьюдента.

## Результаты

**Подбор оптимальной питательной среды для наращивания биомассы *V. punctata*.** В известных базах данных по микроскопическим водорослям рекомендовано для культивирования *V. punctata* среды Прата и Болда (BBM 3N) [11] и модифицированы среда Болда (BBM 3N + V) [10], которая отличается наличием витаминов – цианокобаламина и тиамин гидрохлорида. Среда Болда и ее модифицированный вариант по сравнению со средой Прата, богаты нитратами, дополнительно включают соли цинка, кобальта и молибдена. Для определения оптимальной среды

культивирования был проведен опыт с использованием трех рекомендованных сред (рисунок 1).

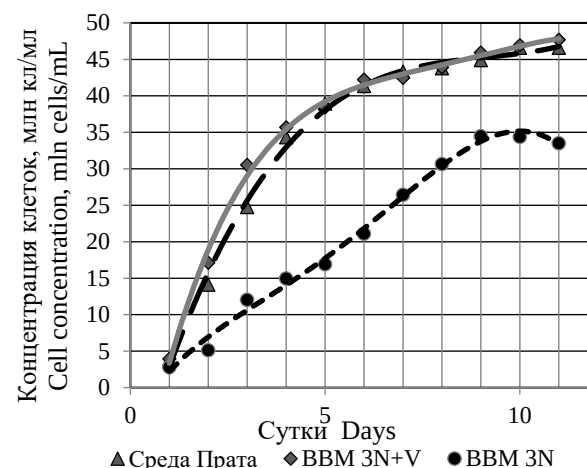


Рисунок 1. Кривые культивирования *Vischeria punctata* в различных питательных средах

Figure 1. Cultivation curves of *Vischeria punctata* in different nutrient media

Лag-фаза в вариантах не превышала суток, что характеризует высокую метаболическую активность популяции микроводоросли в маточной культуре. Максимальный скорость роста в среде Болда и ее модифицированном варианте наблюдали в первые 6 суток культивирования, далее она снижалась и к 9–10 суткам наступала фаза стабилизации. Концентрация клеток в суспензии достигала  $47,0 \pm 4,5$  млн кл/мл, при этом существенных различий в росте популяции *V. punctata* в среде Болда и ее модифицированном варианте не наблюдалось (таблица 1).

Среда Прата оказалась менее продуктивной, прирост биомассы наблюдался до 10 суток культивирования, при этом концентрация клеток в суспензии достигала  $35,0 \pm 3,0$  млн кл/мл. На 11 сутки культивирования начинается фаза истощения.

Значение pH в питательных средах находилось в пределах 4,7–5,0. При культивировании *V. punctata* в течение 10–11 суток происходило увеличение значений pH до 9,88 в среде Прата, до 10,27 и в среде Болда и 10,02 в модифицированной среде Болда, что связано с усвоением нитрат-ионов из среды. Защелачивание среды способствует флокуляции клеток, при этом их метаболическая активность снижается, рост популяции замедляется.

Выход воздушно-сухой биомассы достигает  $2,32 \pm 0,21$  и  $2,26 \pm 0,11$  г/л (среда BBM 3N и BBM 3N + V соответственно), что выше, чем в среде Прата ( $1,15 \pm 0,20$  г/л).

Выход воздушно-сухой биомассы после культивирования *Vischeria punctata* в рекомендованных средах

Table 1.

Yield of air-dried biomass after cultivation of *Vischeria punctata* in recommended media

| Питательная среда<br>Nutrient medium | Удельная скорость роста в экспоненциальную фазу, $\mu$<br>Specific growth rate in exponential phase, $\mu$ | Популяционная емкость, К, млн кл/мл<br>Population capacity, K, mln cl/mL | pH на конец культивирования<br>pH at the end of cultivation | Выход биомассы, г/л<br>Biomass yield, g / l |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Среда Прата                          | 0,279                                                                                                      | 33,49                                                                    | 9,88                                                        | 1,15                                        |
| BBM 3N                               | 0,543                                                                                                      | 46,60                                                                    | 10,27                                                       | 2,32                                        |
| BBM 3N + V                           | 0,442                                                                                                      | 47,69                                                                    | 10,02                                                       | 2,26                                        |

Таким образом, наиболее эффективной для наращивания биомассы *V. punctata* оказалась среда BBM3N, добавка витаминов не имела существенного значения для накопления биомассы.

**Исследование влияния добавки пиридоксина и различных концентраций перекиси водорода на показатели культивирования *V. punctata*.** Дозированное внесение перекиси водорода и пиридоксина в питательную среду Болда проводили в первые сутки культивирования *V. punctata*, и каждые двое суток до конца культивирования, при этом суспензию микро-

водорослей хорошо перемешивали. Перекись водорода в вариантах вносили в концентрациях от 0,1 до 0,3 мл/л суспензии микроводорослей. Совместно с перекисью в питательную среду вносили пиридоксин в концентрации 50 мг/л суспензии микроводорослей среды во всех вариантах (таблица 2). В контрольный вариант перекись и пиридоксин не вносили. Остальные условия культивирования (режим освещенности, температура) были такими же, как и в предыдущем эксперименте.

Таблица 2.

Схема эксперимента (базовая среда Болда)

Table 2.

Experimental design (Bold's base environment)

| Вариант<br>Option   | V питательной среды, мл<br>V of nutrient medium, ml | V H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , мл на 500 мл<br>V H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , ml per 500 ml | M пиридоксина, мг на 500 мл<br>M pyridoxine, mg per 500 ml |
|---------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| контроль<br>control | 500                                                 | 0                                                                                                 | 0                                                          |
| 2                   | 500                                                 | 0,05                                                                                              | 25                                                         |
| 3                   | 500                                                 | 0,10                                                                                              | 25                                                         |
| 4                   | 500                                                 | 0,15                                                                                              | 25                                                         |

Продолжительность лаг-фазы в экспериментальных вариантах и в контроле не превышала суток. Экспоненциальная фаза роста в контрольном варианте на шестые сутки переходила в фазу замедленного роста (при концентрации 35,68 млн кл/мл). В вариантах с внесением перекиси водорода 0,1 и 0,2 мл/л суспензии микроводорослей экспоненциальная фаза завершалась на пятые сутки культивирования (при концентрации 39,31 и 36,86 млн кл/мл соответственно). В варианте со внесением перекиси водорода 0,3 мл/л суспензии микроводорослей экспоненциальная фаза завершалась на четвертые сутки культивирования (при концентрации 29,13 млн кл/мл) (рисунок 2).

Продолжительность культивирования *V. punctata* составляла 10 суток, при этом максимальная концентрация клеток достигала в вариантах с внесением перекиси водорода 0,1 и 0,2 мл/л (47,47 и 47,58 млн кл/мл соответственно). В варианте с добавлением перекиси водорода 0,3 мл/л суспензии микроводорослей

концентрация клеток достигала 42,34 млн кл/мл, что ниже значений в контрольном варианте.

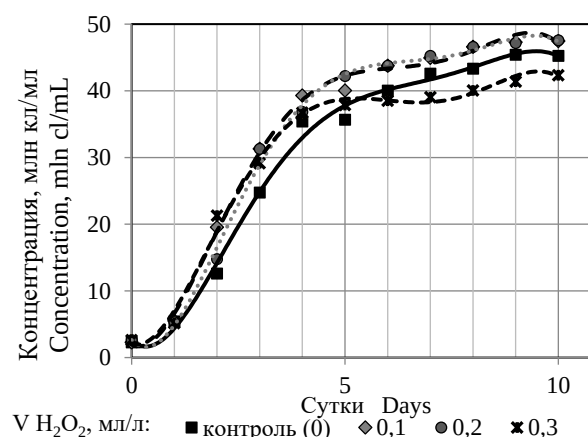


Рисунок 2. Кривые культивирования суспензий водорослей в среде (BBM3N) с добавлением перекиси водорода разной концентрации

Figure 2. Curves of cultivation of algae suspensions in a medium (BBM3N) with the addition of hydrogen peroxide of different concentrations

В фазу стабилизации оценивали состояние популяции микроводорослей по микроскопической картине прижизненных неокрашенных препаратов. Наиболее информативным показателем, характеризующим средний размер клеток в популяции, стала площадь проекции клеток (таблица 3). При увеличении объема вносимой перекиси водорода площадь проекции уменьшается пропорционально количеству вносимой добавки.

В вариантах с внесением перекиси водорода 0,1 и 0,2 мл/л (варианты 2 и 3) отмечена тенденция к увеличению популяционной емкости по сравнению с контролем, что связано со стимулирующим влиянием фактора роста пиридоксина, увеличился выход воздушно-сухой биомассы.

В варианте 4 происходит снижение популяционной емкости, что расцениваем как следствие неблагоприятного влияния наивысшей концентрации вносимой перекиси водорода (0,15 мл на 500 мл) на ростовые характеристики популяции микроводоросли.

**Содержание пигментов в биомассе *V. punctata*, полученной при влиянии добавок пиридоксина и различных концентраций перекиси водорода.** Спектрофотометрическим методом определяли содержание фракций пигментного комплекса (хлорофилла а, хлорофилла б и суммы каротиноидов) и их соотношения (таблица 4).

Таблица 3.  
Выход воздушно-сухой биомассы после культивирования микроводоросли *Vischeria punctata* при добавлении перекиси водорода и пиридоксина

Table 3.

Yield of air-dried biomass after cultivation of microalgae *Vischeria punctata* with the addition of hydrogen peroxide and pyridoxine

| Вариант   Option   | Удельная скорость роста в экспоненциальную фазу, $\mu$<br>Specific growth rate in exponential phase, $\mu$ | Популяционная емкость, К, млн кл/мл<br>Population capacity, K, million cells / ml | Площадь проекции клеток, $\mu\text{м}^2$<br>Projection area of cells, $\mu\text{m}^2$ | Выход биомассы, г/л<br>Biomass yield, g/l |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Контроль   control | 0,549                                                                                                      | 45,42                                                                             | $15,54 \pm 0,84$                                                                      | 2,32                                      |
| 2                  | 0,572                                                                                                      | 47,47                                                                             | $15,58 \pm 1,02^*$                                                                    | 2,52                                      |
| 3                  | 0,556                                                                                                      | 47,58                                                                             | $14,69 \pm 1,11$                                                                      | 2,66                                      |
| 4                  | 0,667                                                                                                      | 42,34                                                                             | $14,46 \pm 0,90$                                                                      | 2,30                                      |

Примечание:  $\pm$  доверительный интервал; \* достоверные отличия с вероятностью 95%.  
Note:  $\pm$  confidence interval; \* significant differences with a probability of 95%.

Таблица 4.  
Сводная таблица содержания пигментов в биомассе в различных вариантах эксперимента

Table 4.

Summary table of pigment content in biomass in different experimental variants

| Содержание пигментов, мг/г сухой биомассы<br>The pigment content, mg/g dry biomass                      | Образцы биомассы, полученные в различных условиях культивирования<br>Biomass samples obtained under various cultivation conditions |                                                                                                                                                        |                       |                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|
|                                                                                                         | Контроль<br>Control                                                                                                                | Концентрация $\text{H}_2\text{O}_2$ мл/л суспензии <i>V. punctata</i><br>Concentration of $\text{H}_2\text{O}_2$ ml/l of <i>V. punctata</i> suspension |                       |                        |
|                                                                                                         |                                                                                                                                    | 0,1                                                                                                                                                    | 0,2                   | 0,3                    |
| Хлорофилл а   Chlorophyll a                                                                             | $16,17 \pm 0,69$                                                                                                                   | $18,35 \pm 1,1^{**}$                                                                                                                                   | $17,50 \pm 0,76^*$    | $17,73 \pm 0,81^*$     |
| Хлорофилл б   Chlorophyll b                                                                             | $7,04 \pm 0,54$                                                                                                                    | $8,09 \pm 0,588^{**}$                                                                                                                                  | $8,09 \pm 0,54^*$     | $8,61 \pm 0,39^{**}$   |
| Сумма каротиноидов   Sum of carotenoids                                                                 | $4,85 \pm 0,08$                                                                                                                    | $5,84 \pm 0,29^{**}$                                                                                                                                   | $5,97 \pm 0,27^{**}$  | $4,36 \pm 0,29^*$      |
| Сумма пигментов   Pigment amount                                                                        | $28,06 \pm 1,24$                                                                                                                   | $32,28 \pm 1,79^{**}$                                                                                                                                  | $31,56 \pm 1,47^{**}$ | $30,70 \pm 0,1, 27^*$  |
| Доля каротиноидов от суммы пигментов, %<br>The proportion of carotenoids from the amount of pigments, % | $17,32 \pm 0,59$                                                                                                                   | $18,12 \pm 0,49^*$                                                                                                                                     | $18,92 \pm 0,34^{**}$ | $14,20 \pm 0,539^{**}$ |
| Соотношение хлорофиллов а/б<br>The ratio of chlorophyll a/b                                             | $2,30 \pm 0,12$                                                                                                                    | $2,27 \pm 0,12$                                                                                                                                        | $2,17 \pm 0,10$       | $2,06 \pm 0,10^*$      |
| Хл (а + б)/Кар   Ch(a + b)/car                                                                          | $4,78 \pm 0,20$                                                                                                                    | $4,52 \pm 0,15$                                                                                                                                        | $4,29 \pm 0,10$       | $6,04 \pm 0,22^*$      |

Примечание:  $\pm$  доверительный интервал; \* достоверные отличия с вероятностью 95%, \*\* – достоверные отличия с вероятностью 99%  
Note:  $\pm$  confidence interval; \* significant differences with a probability of 95%, \*\* significant differences with a probability of 99%

По результатам эксперимента было определено достоверное увеличение содержания суммы фотосинтезирующих пигментов в биомассе микроводорослей в вариантах с дозированным внесением перекиси водорода и пиридоксина, что связано с активирующим влиянием пиридоксина. Самая большая прибавка содержания суммы пигментов (на 15,0% по сравнению

с контролем) отмечена в варианте с минимальной концентрацией вносимой перекиси 0,1 мл/л суспензии микроводорослей. Увеличение добавки перекиси снижает нарастание содержания пигментов: в варианте с добавкой 0,2 мл/л суспензии – на 12,5%, в варианте с добавкой 0,3 мл/л суспензии – на 9,4%.

Также отмечаем, что с увеличением доли вносимой перекиси происходит снижения содержания фракции хлорофилла а и увеличение содержания хлорофилла б, что связано с окислением хлорофилла а. Эта закономерность отражена в изменении отношения фракций хлорофиллов (таблица 4).

В вариантах с концентрацией вносимой перекиси 0,1 и 0,2 мл/л достоверно увеличивается содержание суммы каротиноидов по сравнению с контролем, на 20,4 и 23,1% соответственно. В этих вариантах проявился адаптационный потенциал популяции *V. punctata*. В варианте с внесением перекиси водорода 0,3 мл/л суспензии микроводорослей адаптационные возможности популяции микроводорослей недостаточны для преодоления стрессового воздействия. В этом варианте мы видим значимое уменьшение содержания суммы каротиноидов на 10,1% по сравнению с контролем.

В вариантах происходит изменение содержания различных видов пигментов, поэтому мы определили относительную величину: долю каротиноидов от суммы фотосинтезирующих пигментов. В вариантах с добавлением перекиси в концентрациях 0,1 и 0,2 мл/л происходит достоверное увеличение доли каротиноидов в пигментном комплексе по сравнению с контролем на 4,6 и 9,2% соответственно. А в варианте с внесением перекиси 0,3 мл/л доля каротиноидов существенно снизилась, на 18,0%, что предположительно связано с высокой стрессовой нагрузкой на антиоксидантные системы микроводорослей.

### Обсуждение

Известно, что в хлоропластах образуются активные формы кислорода (АФК), в том числе и перекись водорода, которые при определенных условиях негативно влияют на мембраны тилакоидов [16]. Перекись водорода способна вызывать широкий спектр повреждений, в том числе связанных с перекисным окислением липидов (ПОЛ) [2, 3]. Перекись водорода также способна к окислению сульфгидрильных групп белков в клетках, эта характеристика может объяснять ингибирующее воздействие перекиси на ферменты цикла Кельвина [17].

Важное значение для осуществления фотосинтеза имеет как общее содержание фотосинтезирующих пигментов, так и соотношение различных видов пигментов. Внесение перекиси водорода в суспензию микроводорослей при культивировании в концентрациях от 0,1 до 0,3 мл/л совместно с пиридоксином (25 мг/л) один раз в двое суток, не приводит к уменьшению содержания суммы пигментов, но приводит к существенному изменению их соотношения, что характеризует значимое влияние на метаболизм фотосинтезирующих пигментов.

У высших растений в стрессовых условиях снижение показателя отношения суммы хлорофиллов к сумме каротиноидов в пигментном комплексе «Ch(a + b)/car» является следствием ПОЛ, которое сопровождается накоплением в фотосинтезирующих тканях малонового диальдегида (МДА) [16]. В нашем исследовании этот показатель снижается в вариантах с внесением перекиси водорода 0,1 и 0,2 мл/л по сравнению с контролем, однако учитывая отсутствие снижения суммы пигментов, фракций хлорофиллов и высокую интенсивность нарастания биомассы при культивировании, мы можем говорить о компенсированном стрессе.

В варианте с внесением 0,3 мл/л перекиси водорода происходит снижение содержания суммы каротиноидов в биомассе, что приводит к увеличению соотношения «Ch(a + b) / car», учитывая сниженные ростовые характеристики, мы характеризуем состояние этой популяции как стрессовое без оптимальной его компенсации.

### Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

Наилучшее нарастание биомассы *V. punctata* (IPPAS H-242) отмечено в среде Болда. Среда Прада менее продуктивна и скорее подходит для сохранения культуры при холодильном хранении. Добавки витаминов в модифицированной среде Болда не привели к увеличению выхода биомассы *V. punctata* при культивировании.

Внесение перекиси водорода в концентрациях от 0,1 до 0,3 мл/л и 50 мг/л пиридоксина каждые двое суток в течение всего периода культивирования привело к уменьшению продолжительности экспоненциальной фазы роста. В контроле она длилась до 6 суток, в вариантах с внесением перекиси водорода 0,1 и 0,2 мл/л она укорачивается до 5 суток, а в варианте с внесением 0,3 мл/л перекиси водорода она длится до 4 суток. Выход биомассы и популяционная емкость в вариантах с внесением перекиси водорода 0,1 и 0,2 мл/л увеличивается по сравнению с контролем.

Анализ микроскопической картины показал, что в вариантах с внесением перекиси водорода наблюдается тенденция к уменьшению средних размеров клеток в популяции пропорционально доле вносимой перекиси.

Влияние добавки перекиси водорода разной концентрации в сочетании с пиридоксином не привело к уменьшению суммарного содержания фотосинтезирующих пигментов, однако отразилось на соотношении различных видов пигментов в исследуемом комплексе. Перекись

водорода способствует окислению хлорофилла а, что отразилось в уменьшении соотношения хлорофилла а к хлорофиллу б. В вариантах с внесением перекиси водорода 0,1 и 0,2 мл/л отмечено увеличение доли каротиноидов в пигментном комплексе по сравнению с контролем на  $18,12 \pm 0,20$  и  $18,92 \pm 0,14\%$  соответственно. Усиленный каротиногенез отражает компенсаторные реакции на дозированное стрессовое воздействие, которое связано с ПОЛ. В варианте с внесением перекиси водорода 0,3 мл/л содержание каротиноидов снижается по сравнению с контрольным вариантом, что характеризует некомпенсированное стрессовое состояние популяции микроводорослей.

Максимальное содержание каротиноидов отмечено в варианте с внесением перекиси водорода 0,2 мл/л и составляет  $5,97 \pm 0,27$  мг на г воздушно-сухой биомассы микроводоросли, что достоверно выше этого показателя в контроле на 41,3%.

Рекомендованный способ направленного культивирования *V. punctata* (штамм IPPAS H-242) позволит получить биомассу с увеличенным содержанием каротиноидов, без уменьшения выхода биомассы при культивировании. Полученную биомассу можно использовать для получения не только каротиноидов, но и других ценных биоактивных соединений для применения в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности.

### Литература

- 1 Дымова О.В., Новаковская И.В., Патова Е.Н. Влияние условий культивирования на содержание каротиноидов в клетках водоросли *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. XVII Всероссийская науч.-практ. конф. с международным участием. Киров, 05 декабря 2019 года. Книга 2. С. 260–262.
- 2 Головки Т.К., Силина Е.В., Лашманова Е.А., Козловская А.В. Активные формы кислорода и антиоксиданты в живых системах: интегрирующий обзор // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 17–26. doi: 10.25750/1995–4301–2022–1–017–026
- 3 Радюкина Н.Л., Михеева Л.Е., Карбышева Е.А. Низкомолекулярные антиоксиданты в клетках цианобактерий и растений // Успехи современной биологии. 2019. Т. 139. № 3. С. 254–266. doi: 10.1134/S0042132419030062.
- 4 Ядерец В.В., Карпова Н.В., Глаголева Е.В., Петрова К.С. и др. Каротиноиды: обзор основных биотехнологических способов и условий получения // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14, № 1(48). С. 41–54. doi:10.21285/achb.905
- 5 Кузнецова Т.А., Никитина М.С., Севастьянова А.Д. Направленное культивирование *Chlorella sorokiniana* с целью увеличения синтеза каротиноидов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 4(82). С. 34–39. doi: 10.20914/2310–1202–2019–4–34–39
- 6 Пат. № 2758355 C1 C12N 1/12. Способ направленного культивирования биомассы микроводоросли *Chlorella sorokiniana*: / Е.Б. Аронова, Ю.Г. Базарнова, Ю.А. Смятская. № 2021109499. Заявл. 06.04.2021. Опубл. 28.10.2021.
- 7 Rodríguez-Concepción M., Avalos J., Bonet M.L. A global perspective on carotenoids: metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health // Progress in lipid research (Ed. Elsevier), V. 70. P. 62–93.
- 8 Маслова Т.Г., Марковская Е.Ф., Слемнев Н.Н. Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81. № 4. С. 297–310. doi: 10.31857/S0044459620040065
- 9 CCAP 887/3 *Vischeria punctata*. Culture Collection of algae & protozoa. URL: <https://www.ccap.ac.uk/catalogue/strain-887-3>.
- 10 Каталог коллекции культур микроводорослей IPPAS (ИФР РАН им. К.А. Тимирязева). IPPAS H-242 *Vischeria punctata* Vischer. URL: <http://cellreg.org/catalog/>
- 11 Кривова, З.В., Мальцев Е.И., Куликовский М.С. Влияние азотного голодания на жирнокислотный состав штаммов рода *Vischeria* // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: Тезисы докладов Международной научной конференции, посвящённой 150-летию Севастопольской биологической станции – Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий», Севастополь, 13–18 сентября 2021 года. Севастополь: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН", 2021. С. 591–592.
- 12 Babich O., Budenkova E., Kashirskikh, E., Dolganyuk V. et al. Study of the Polysaccharide Production by the Microalga *Vischeria punctata* in Relation to Cultivation Conditions // Life. 2022. № 12, 1614. URL: <https://doi.org/10.3390/life12101614>.
- 13 Alcaíno J., Baeza M., Cifuentes V. Cifuentes V. Carotenoid Distribution in Nature // Biology, Environmental Science Sub-cellular biochemistry. 2016.V. 79. P. 3-33. doi: 10.1007/978–3–319–39126–7\_1
- 14 Пат. № 2695879 C1, RU, A23J 3/20. Способ получения пигментного комплекса из биомассы одноклеточных водорослей рода *Chlorella* / Ю.Г. Базарнова, Т.А. Кузнецова, Ю.А. Смятская № 2018142406. Заявл. 01.12.2018. Опубл. 29.07.2019.
- 15 Mulenga C., Clarke C., Meincken M. Physiological and growth responses to pollutant-induced biochemical changes in plants: A review. 2020. Pollution. 2020. Vol. 6. pp. 827-848. doi:10.22059/poll.2020.303151.821
- 16 Viviani, A., Verma, B. C., Giordani, T., Fambrini, M. L-Ascorbic acid in plants: From biosynthesis to its role in plant development and stress response. Agrochimica: International Journal of Plant Chemistry, Soil Science and Plant Nutrition of the University of Pisa. 2021. V. 65. № 2. P. 151-171.

- 17 Wang J. Hu, X., Chen, J., Wang, T. et al. The Extraction of  $\beta$ -Carotene from Microalgae for Testing Their Health Benefits. *Foods*. 2022. V. 11. P. 502. doi: 10.3390/foods11040502
- 18 Wang L. Liu Z., Jiang H., Mao X. Biotechnology advances in  $\beta$ -carotene production by microorganisms // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. V. 111. P. 322-332. doi:10.1016/j.tifs.2021.02.077
- 19 Rozenberg J. M., Sorokin B.A., Mukhambetova A.N., Emelianova A.A. et al. Recent advances and fundamentals of microalgae cultivation technology // *Biotechnology Journal*. 2024. V. 19. №. 3. P. 2300725.
- 20 Martins C. B., Ferreira O., Rosado T., Gallardo E. et al. Eustigmatophyte strains with potential interest in cancer prevention and treatment: Partial chemical characterization and evaluation of cytotoxic and antioxidant activity // *Biotechnology Letters*. 2021. V. 43. P. 1487-1502. doi: 10.1007/s10529-021-03122-0

## References

- 1 Dymova O.V., Novakovskaya I.V., Patova E.N. and others. The influence of cultivation conditions on the content of carotenoids in the cells of the algae *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi // *Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems: Materials of the XVII All-Russian scientific and practical conference with international participation*, Kirov. 2019. Vol. 2. pp. 260–262. (in Russian).
- 2 Golovko T.K., Silina E.V., Lashmanova E.A., Kozlovskaya A.V. Reactive oxygen species and antioxidants in living systems: an integrating review // *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. no. 1. pp. 17–26. doi: 10.25750/1995–4301–2022–1–017–026. (in Russian).
- 3 Radyukina N.L., Mikheeva L.E., Karbysheva E.A. Low molecular weight antioxidants in cyanobacterial and plant cells // *Advances in modern biology*. 2019. Vol. 139. no. 3. pp. 254–266 doi: 10.1134/S0042132419030062. (in Russian).
- 4 Yaderets V.V., Karpova N.V., Glagoleva E.V. Petrova K.S. et al. Carotenoids: a review of the main biotechnological methods and conditions for production // *News of universities. Applied chemistry and biotechnology*. 2024. Vol. 14, no. 1(48). pp. 41–54 doi: 10.21285/achb.905 (in Russian).
- 5 Kuznetsova T.A., Nikitina M.S., Sevastyanova A.D. Directed cultivation of *Chlorella sorokiniana* to increase carotenoid synthesis // *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019. Vol. 81. no. 4(82). pp. 34–39 doi: 10.20914/2310–1202–2019–4–34–39 (in Russian).
- 6 E.B. Aronova, Yu. G. Bazarnova, Yu. A. Smyatskaya. Method for directed cultivation of *Chlorella sorokiniana* microalgae biomass Patent RF, no. 2758355. (in Russian).
- 7 Rodríguez-Concepción M., Avalos J., Bonet M.L. A global perspective on carotenoids: metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health // *Progress in lipid research* (Ed. Elsevier). 2018. Vol. 70 pp. 62–93.
- 8 Maslova T.G., Markovskaya E.F., Slemnev N.N. Functions of carotenoids in the leaves of higher plants (review) // *Journal of General Biology*. 2020. Vol. 81, no. 4. pp. 297–310 doi: 10.31857/S0044459620040065 (in Russian).
- 9 CCAP 887/3 *Vischeria punctata*. Culture Collection of algae & protozoa. URL: <https://www.ccap.ac.uk/catalogue/strain-887-3>.
- 10 Catalogue of the IPPAS microalgae culture collection (K.A. Timiryazev Institute of Physiology and Microbiology of the Russian Academy of Sciences). IPPAS H-242 *Vischeria punctata* Vischer. (in Russian). URL: <http://cellreg.org/catalog>
- 11 Krivova, Z.V., Maltsev E.I., Kulikovskiy M.S. The effect of nitrogen starvation on the fatty acid composition of strains of the genus *Vischeria* // *Study of aquatic and terrestrial ecosystems: history and modernity: Abstracts of the International Scientific Conference dedicated to the 150th anniversary of the Sevastopol Biological Station – A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas and the 45th anniversary of the research vessel Professor Vodyanitsky, Sevastopol, September 13–18, 2021. – Sevastopol: Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center "A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences", 2021. pp. 591–592 (in Russian).*
- 12 Babich O., Budenkova E., Kashirskikh, E. Dolganyuk V et al. Study of the Polysaccharide Production by the Microalga *Vischeria punctata* in Relation to Cultivation Conditions // *Life*. 2022. no. 12. pp. 1614. doi: 10.3390/life12101614
- 13 Alcáíno J., Baeza M., Cifuentes V. Cifuentes Carotenoid Distribution in Nature // *Biology, Environmental Science Sub-cellular biochemistry*. 2016. Vol. 79. pp. 3-33. doi: 10.1007/978–3–319–39126–7\_1
- 14 Yu. G. Bazarnova, T.A. Kuznetsova, Yu. A. Smyatskaya Method for obtaining a pigment complex from the biomass of unicellular algae of the genus *Chlorella*. Patent RF, no. 2695879 C1. (in Russian).
- 15 Mulenga C., Clarke C., Meincken M. Physiological and growth responses to pollutant-induced biochemical changes in plants: A review. *Pollution*. 2020. Vol. 6. pp. 827-848. doi:10.22059/poll.2020.303151.821
- 16 Viviani, A., Verma, B. C., Giordani, T., Fambrini, M. L-Ascorbic acid in plants: From biosynthesis to its role in plant development and stress response. *Agrochimica: International Journal of Plant Chemistry, Soil Science and Plant Nutrition of the University of Pisa*. 2021. Vol. 65. no 2. pp. 151-171.
- 17 Wang J. Hu, X., Chen, J., Wang, T. et al. The Extraction of  $\beta$ -Carotene from Microalgae for Testing Their Health Benefits. *Foods* 2022, Vol. 11, pp. 502. doi: 10.3390/foods11040502
- 18 Wang L. Liu Z., Jiang H., Mao X. Biotechnology advances in  $\beta$ -carotene production by microorganisms // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 111. pp. 322-332. doi:10.1016/j.tifs.2021.02.077
- 19 Rozenberg J. M., Sorokin B.A., Mukhambetova A.N., Emelianova A.A. et al. Recent advances and fundamentals of microalgae cultivation technology // *Biotechnology Journal*. 2024. Vol. 19. no. 3. pp. 2300725. doi: 10.1002/biot.202300725
- 20 Martins C. B., Ferreira O., Rosado T., Gallardo E. et al. Eustigmatophyte strains with potential interest in cancer prevention and treatment: Partial chemical characterization and evaluation of cytotoxic and antioxidant activity // *Biotechnology Letters*. 2021. Vol. 43. pp. 1487-1502. doi: 10.1007/s10529-021-03122-0

## Сведения об авторах

**Татьяна А. Кузнецова** к.б.н., доцент, институт биомедицинских систем и биотехнологий, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Новороссийская, 48, г. Санкт-Петербург, 184021, Россия, kuznetsova.ta1@spbstu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-0162-0896>

**Маруф Х. Мустафакулов** магистр, Институт биомедицинских систем и биотехнологий, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Новороссийская, 48, г. Санкт-Петербург, 184021, Россия, marufbekmmxmr@gmail.com  
 <https://orcid.org/0009-0004-4324-5646>

## Вклад авторов

**Татьяна А. Кузнецова** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, планирование и проведение экспериментов, выполнение расчетов, оформление и обсуждение результатов.

**Маруф Х. Мустафакулов** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Information about authors

**Tatiana A. Kuznetsova** Cand. Biological Sciences, assistant professor, Institute of Biomedical Systems and Biotechnology, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, st. Novorossiyskaya, 48, St. Petersburg, 184021, Russia, kuznetsova.ta1@spbstu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0162-0896>

**Maruf H. Mustafakulov** student, Institute of Biomedical Systems and Biotechnology, Peter the Great Sankt. Petersburg Polytechnic University, st. Novorossiyskaya, 48, St. Petersburg, 184021, Russia, marufbekmmxmr@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0004-4324-5646>

## Contribution

**Tatiana A. Kuznetsova** a review of literary sources on the studied problem, planning and conducting experiments, performing calculations, writing and discussing the results.

**Maruf H. Mustafakulov** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 22/10/2024 | После редакции 15/11/2024      | Принята в печать 27/11/2024 |
| Received 22/10/2024  | Accepted in revised 15/11/2024 | Accepted 27/11/2024         |

## Разработка подходов биофортификации микрозелени при выращивании в фитотроне городского типа

|                     |              |                                                                |                                                                                                         |
|---------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Людмила Г. Елисеева | <sup>1</sup> | <a href="mailto:eliseeva.lg@rea.ru">eliseeva.lg@rea.ru</a>     |  0000-0003-2715-9989 |
| Дарья В. Сими́на    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:daria.simina@mail.ru">daria.simina@mail.ru</a> |  0000-0003-3543-7125 |
| Юрий И. Сидоренко   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:sidorenko.yi@rea.ru">sidorenko.yi@rea.ru</a>   |  0000-0002-3207-9599 |
| Петр И. Токарев     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:tokarev.pi@rea.ru">tokarev.pi@rea.ru</a>       |  0009-0003-2380-4220 |
| Татьяна А. Сантурян | <sup>1</sup> | <a href="mailto:santuryan.ta@rea.ru">santuryan.ta@rea.ru</a>   |  0000-0001-9487-9797 |

<sup>1</sup> Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия

**Аннотация.** В настоящее время во всем мире остро стоит проблема распространения неинфекционных алиментарных заболеваний, вызванных использованием несбалансированных рационов питания с дефицитом эссенциальных микронутриентов. Минздравом России установлен элементный статус населения России в структуре которого установлен дефицит ряда макро- и микроэлементов. Особую озабоченность вызывают микроэлементозы, обусловленные дисбалансом йода, селена и цинка. Более чем у 40% населения России установлен дефицит цинка, до 45-50% испытывают недостаток йода и 65-70% - селена. В «Стратегии повышения качества пищевой продукции в РФ до 2030 года» указывается, что одной из причин недостаточной функциональности пищевой продукции является практически полное отсутствие в Российской Федерации производства пищевых биологически активных ингредиентов и субстанций. В стратегии предусмотрена необходимость создания условий для производства отечественной продукции нового поколения с заданными характеристиками качества. Одним из наиболее перспективных продуктов питания является микрозелень. Микрозелень считается «суперпродуктом» за счет повышенного содержания в ней широкого спектра биологически активных веществ, в том числе макро- и микроэлементов. В статье представлены подходы к биофортификации микрозелени при выращивании в условия фитотронов городского типа. Отражена технологические подходы обогащения микрозелени в процессе вегетации растворами цинка, селена и йода, позволяющие получить продукт, удовлетворяющий суточную потребность человека в селене на 41% и 49% для мужчин и женщин соответственно, в йоде на 50% и в цинке на 49% (в порции 40 г). Указанные показатели содержания микро- и макроэлементов достигаются при комплексной обработке водным раствором солей цинка и селена на 7, 10 и 12 сутки после начала вегетации и дополнительной обработке водным раствором йодистого калия на 12 сутки.

**Ключевые слова:** микрозелень, технология обогащения, эссенциальные микроэлементы, фитотрон, обогащенные продукты питания.

## development of approaches for biofortification of microgreens when growing in an urban type phytotron

|                      |              |                                                                |                                                                                                           |
|----------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lyudmila G. Eliseeva | <sup>1</sup> | <a href="mailto:eliseeva.lg@rea.ru">eliseeva.lg@rea.ru</a>     |  0000-0003-2715-9989 |
| Daria V. Simina      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:daria.simina@mail.ru">daria.simina@mail.ru</a> |  0000-0003-3543-7125 |
| Yuri I. Sidorenko    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:sidorenko.yi@rea.ru">sidorenko.yi@rea.ru</a>   |  0000-0002-3207-9599 |
| Petr I. Tokarev      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:tokarev.pi@rea.ru">tokarev.pi@rea.ru</a>       |  0009-0003-2380-4220 |
| Tatyana A. Santuryan | <sup>1</sup> | <a href="mailto:santuryan.ta@rea.ru">santuryan.ta@rea.ru</a>   |  0000-0001-9487-9797 |

<sup>1</sup> Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny pereulok, 36, Moscow, Russia, 115054

**Abstract.** Currently, the world is facing an acute problem of non-infectious alimentary diseases caused by the use of unbalanced diets with a deficiency of essential micronutrients. The Ministry of Health of the Russian Federation has established the elemental status of the population of Russia, in the structure of which a deficiency of a number of macro- and microelements has been established. Of particular concern are microelementoses caused by an imbalance of iodine, selenium and zinc. More than 40% of the population of Russia has a zinc deficiency, up to 45-50% experience a deficiency of iodine and 65-70% - selenium. These elements help strengthen the immune system, increase the adaptive capacity of the body, normalize metabolic activity, synthesize hormones and epigenetic regulation of gene activity in the genome. The "Strategy for Improving the Quality of Food Products in the Russian Federation until 2030" indicates that one of the reasons for the insufficient functionality of food products is the almost complete absence of production of food biologically active ingredients and substances in the Russian Federation. The strategy provides for the need to create conditions for the production of a new generation of domestic products with specified quality characteristics. One of the most promising food products, gaining popularity all over the world, is microgreens. Microgreens are considered a "superfood" due to the increased content of a wide range of biologically active substances, including macro- and microelements. The article presents approaches to the biofortification of microgreens when growing in urban phytotrons. The technological approaches to enriching microgreens during vegetation with zinc, selenium and iodine solutions are reflected, allowing to obtain a product that satisfies the daily human need for selenium by 41% and 49% for men and women, respectively, for iodine by 50% and for zinc by 49% (in a 40 g serving). The specified indicators of the content of micro- and macroelements are achieved with complex treatment with an aqueous solution of zinc and selenium salts on the 7th, 10th and 12th days after the start of vegetation and additional treatment with an aqueous solution of potassium iodide on the 12th day.

**Keywords:** microgreens, biofortification technology, essential microelements, phytotron, fortified food products.

### Для цитирования

Елисеева Л.Г., Сими́на Д.В., Сидоренко Ю.И., Токарев П.И., Сантурян Т.А. Разработка подходов биофортификации микрозелени при выращивании в фитотроне городского типа // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 84–92. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-84-92

### For citation

Eliseeva L.G., Simina D.V., Sidorenko Yu.I., Tokarev P.I., Santuryan T.A. development of approaches for biofortification of microgreens when growing in an urban type phytotron. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 84–92. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-84-92

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Ежегодно во всем мире проводятся исследования в области достаточности, доступности и полноты ассортимента безопасных, качественных и здоровых продуктов питания. Обеспокоенность российских ученых этим вопросом вызвана несоответствием пищевого статуса и структуры питания населения Российской Федерации требованиям и нормам физиологической потребности организма человека в микро- и макронутриентах, таких как пищевые волокна, витамины, антиоксиданты и минеральные вещества. Для решения данной проблемы в России в 2021 году были сформированы Стратегические национальные приоритеты Российской Федерации, обуславливающие необходимость производства функциональных продуктов питания для поддержания пищевого статуса населения страны. В 2024 году в Указе Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529 в качестве критической технологии была сформулирована необходимость разработки новых технологий персонализированного, лечебного и функционального питания. Согласно данным Всемирной Организации Здравоохранения, у 15–50% взрослых и 61–65% детей наблюдается нехватка витаминов группы В, у 3–10% взрослых и 28–35% детей в рационе питания диагностирован дефицит витаминов С и Е, а также у 31% взрослого населения установлен недостаток витамина D. Среди эссенциальных минеральных элементов наиболее дефицитными у населения России считаются селен, йод и цинк [1-2].

Селен (Se) необходим для правильного функционирования многих физиологических процессов, таких как метаболизм гормонов щитовидной железы, деятельности иммунной системы и антиоксидантной защиты [3].

Одной из наиболее распространенных проблем, связанных с недостаточностью питания, является дефицит йода, что обусловлено низким его содержанием в продуктах питания. В настоящее время около двух миллиардов человек в мире, независимо от экономических, политических и социальных условий, страдают от недостатка йода [4]. Йод выполняет важные функции в обмене веществ, он необходим для синтеза гормонов щитовидной железы, которые играют решающую роль в защите нервной системы, дифференцировке и росте мозга, а также развитии плода.

Цинк входит в состав ряда ферментов и участвует в управлении активностью многих физиологических процессов, включая регуляцию генов. Его дефицит может вызвать задержку роста, нарушение иммунных функций и даже стать причиной смерти, особенно у детей и беременных женщин. Почти у 17,1% населения мира

установлен недостаток цинка. Дефицит цинка более распространен в развивающихся странах, где он затрагивает до 40% детей и женщин [5].

Эссенциальные микро- и макроэлементы поступают в организм с пищей, однако их содержание во многих видах продуктов постоянно снижается. Ухудшение пищевого поведения населения приводит к нарушению метаболической активности, снижению резистентности, активности формирования адаптивного иммунитета, стрессоустойчивости, умственной активности, работоспособности населения, увеличению заболеваемости алиментарными заболеваниями в т. ч. онкологическими. По данным ВОЗ 35–40% онкологических заболеваний обусловлены нарушением адекватного поступления фитонутриентов.

Для решения данной проблемы большое внимание уделяется производству обогащенных продуктов питания, покрывающих суточную потребность организма в нутриентах на 15%–50%. Важным направлением при решении проблемы нормализации структуры питания является изучение возможности и эффективности обогащения свежих овощей и ягод микронутриентами в процессе вегетации.

В рационе здорового питания большое внимание уделяется зеленым культурам, отмечен устойчивый рост спроса потребителей на микрозелень, которая относится к «супер-продуктам» по содержанию биологически активных веществ.

Согласно результатам исследований, проведенных в США в университете Мериленд в 2012 году, микрозелень превосходит традиционные растения по содержанию аскорбиновой кислоты (витамин С),  $\alpha$ - и  $\gamma$ -токоферола (группа витамина Е) и филлохинона (витамин К1), имеет изысканный вкус, текстуру, свежий аромат и разнообразную палитру цветов [1, 2, 14, 19]. Микрозелень может обеспечить более высокое ежедневное потребление большинства минеральных веществ по сравнению с традиционными культурами. Было доказано, что все исследуемые виды микрозелени превосходят в 3–15 раз свои традиционные аналоги по содержанию фенольных соединений, витаминов, эссенциальных микро- и макронутриентов и по показателям общей антиоксидантной активности [13, 18, 19]. Также микрозелень содержит более высокое количество Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Mo.

В таких популярных видах микрозелени как брокколи, руккола, базилик, редис, кале и кресс-салат содержится (в 100г): витамина А в пределах 60–180 мкг; 0,05–0,08 мг витамина В1; 0,1–0,11 мг В2; 0,4–0,85 мг В5; 0,13–0,2 мг В6; 30–73 мкг В9; 16–214 мг витамина С; 0,3–1,4 мг витамина Е; 39–109 мкг витамина К, 0,5–2,9 мг/100г железа, 0,4–1,5 мг/кг йода, 0,7–9,7 мг/кг меди,

0,29–0,77 мг/кг цинка, 0,0013–0,0044 мг/кг селена, а также 1–5,4 мг/100г каротиноидов, 1,3–8,6 мг/г хлорофилла, 0,1–0,7 мг/г фенольных соединений, установлена высокая антиоксидантная активность [1, 2, 13, 14, 20]. Производство и потребление микрозелени может быть экономически эффективным решением для получения ценных источников функциональных пищевых ингредиентов для удовлетворения ежедневных потребностей в биологически активных веществах и в качестве сырья для обогащения широкого спектра пищевых продуктов.

Для обогащения рациона питания эссенциальными микроэлементами, в том числе цинком, селеном и йодом перспективным направлением может являться обогащение микрозелени данными элементами в процессе вегетации.

Исследования, связанные с обогащением плодов, ягод, овощей и микрозелени, проводились в США, странах Европы и в России. Проведенные предварительные исследования подтвердили целесообразность разработки технологии обогащения микрозелени минеральными веществами [3–6]. Полученные результаты продемонстрировали, что раствор  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  в концентрации 10, 20 и 40 мкмоль/л является эффективным при обработке микрозелени, а его концентрации 100, 200 мкмоль и выше являются токсичными для растений. Было отмечено, что микрозелень может быть обработана растворами йода ( $\text{KI}$ ) в широком диапазоне концентраций от 4 до 250 мг/л [4,6]. Микрозелень, обработанная раствором цинка ( $\text{ZnSO}_4$ ) в широком диапазоне концентраций от 5 мг/л до 1 г/л также характеризовалась высоким содержанием цинка по сравнению с контрольными образцами [5]. Из полученных результатов можно сделать вывод, что применение растворов солей исследуемых минеральных элементов является эффективными для обогащения микрозелени. Однако, в проведенных исследованиях наблюдается большой разброс значений концентраций применяемых растворов минеральных веществ, и не установлены оптимальные технологии и сроки обработки для обогащения микрозелени в процессе вегетации.

**Цель работы** – разработка оптимальной технологии биофортификации микрозелени с целью повышения ее нутриентного статуса за счет повышения содержания эссенциальных минеральных веществ цинка, селена и йода при выращивании в фитотроне городского типа.

#### Материалы и методы

Вегетация микрозелени осуществлялась в фитотроне городского типа ИСП-0.01, разработанного АНО «Институт стратегий развития».

Конструкционные решения позволяют моделировать в фитотроне климатические режимы, интенсивность и спектр освещения, использовать гидропонную систему для питания растений. В работе представлены результаты, демонстрирующие эффективность накопления селена, цинка и йода в вегетирующей микрозелени на примере микрозелени салата листового (*Lactuca sativa* L.), сорт «Азарт».

Семена исследуемой культуры предварительно замачивали в дистиллированной воде в течение 1–2 часов равномерно распределяли на субстрате с плотностью 10 шт./см<sup>2</sup>. В качестве субстрата использовались предварительно смоченные в дистиллированной воде подложки из джута, которые помещали в предварительно продезинфицированные лотки. Выращивание осуществляли в фитотроне, в котором создавались оптимальные условия для выращивания микрозелени. Общая продолжительность выращивания составила от 11 до 16 суток в зависимости от вида культуры. В процессе вегетационного периода ежедневно определяли биометрические показатели – массу (10 растений), скорость роста, площадь листовой поверхности. В конце вегетационного периода проводили определение содержания хлорофилла и каротиноидов по методу Лихтеналера и Велбурна [7], содержание фенольных веществ – по методу Фолина-Чокальтеу [8], общую антиоксидантную активность на приборе Эксперт – 006 [9].

Массовую концентрацию йода в микрозелени определяли по МУ 31–07/04 методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА [10].

Массовую концентрацию цинка в микрозелени определяли по МУ 31–04/04 методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА [11].

Массовую концентрацию селена в микрозелени определяли по МУ 31–21/07 методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА [12].

На первом этапе была разработана оптимальная технология обработки семян перед вегетацией и растений микрозелени в процессе выращивания для обеспечения эффективного обогащения исследуемыми минеральными веществами при условии сохранения физиологической активности, потребительских свойств и сохранения индивидуальных органолептических показателей качества. Было выявлено, что наиболее эффективным способом обогащения растений микрозелени является предварительное замачивание семян в оптимальных концентрациях раствора сернокислого цинка и селенита натрия с последующей внекорневой обработкой раствором селена и цинка на 7 сутки выращивания.

На 10 и 12 сутки проводили повторную внекорневую обработку раствором сульфата цинка. При обработке раствором йодистого калия рекомендуется проводить однократную обработку на 12 день после начала вегетации. В предварительных исследованиях были определены оптимальные концентрации используемых растворов, которые составили 50 мкмоль/л для раствора селена ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ), 250 мг/л для раствора йода (KI) и 1 г/л для раствора цинка ( $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Впоследствии было выявлено, что для оптимизации технологии обогащения микрозелени возможно проведение обработки объединенным препаратом раствора селена и цинка. Данный способ обогащения сокращает время обработки, трудозатраты, при этом эффективность обогащения практически не снижается.

Все исследования проводились не менее чем в 3-кратной повторности. Статистическая обработка результатов проводилась с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2016.

### Результаты и обсуждение

При выращивании в фитотронах закрытого типа большое влияние имеют используемые световые комбинации, интенсивность освещения и продолжительность светового дня [20]. Нами было установлено, что фотосинтетическая часть спектра (PPFD), составляющая 134,1 мкмоль/м<sup>2</sup>с, сформированная комбинацией синих и красных

светодиодных ламп в комплексе с люминесцентными лампами давала оптимальный спектр освещения и использовалась при выращивании микрозелени в фитотроне городского типа [15]. Продолжительность светового дня в фитотроне составляла 16 часов, а температурный режим – 24–260

С в дневное время и 17–200 °С в ночное время. Для активизации метаболических процессов усвоения минеральных веществ дополнительно использовался препарат органической природы «Супер микориза» в концентрации 3%. Препарат «Супер микориза» (производства ООО «Биохайтек») содержит более 2500 высокоактивных эндогенных микоризных спор (*Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum*, *Glomus mosseae*, *Glomus aggregatum*) в 1 грамме веса и позволяет более эффективно накапливать исследуемые элементы в процессе вегетации.

На рисунке 1 представлено влияние способов обработки: предварительное замачивание семян, внекорневая подкормка, комплексная обработка, включающая предварительную обработку семян и последующую внекорневую обработку на накопление селена в микрозелени салата, а также различная кратность обработки микрозелени раствором селенита натрия (1, 2 и 3 раза). В качестве контроля использовались семена, обработанные дистиллированной водой.

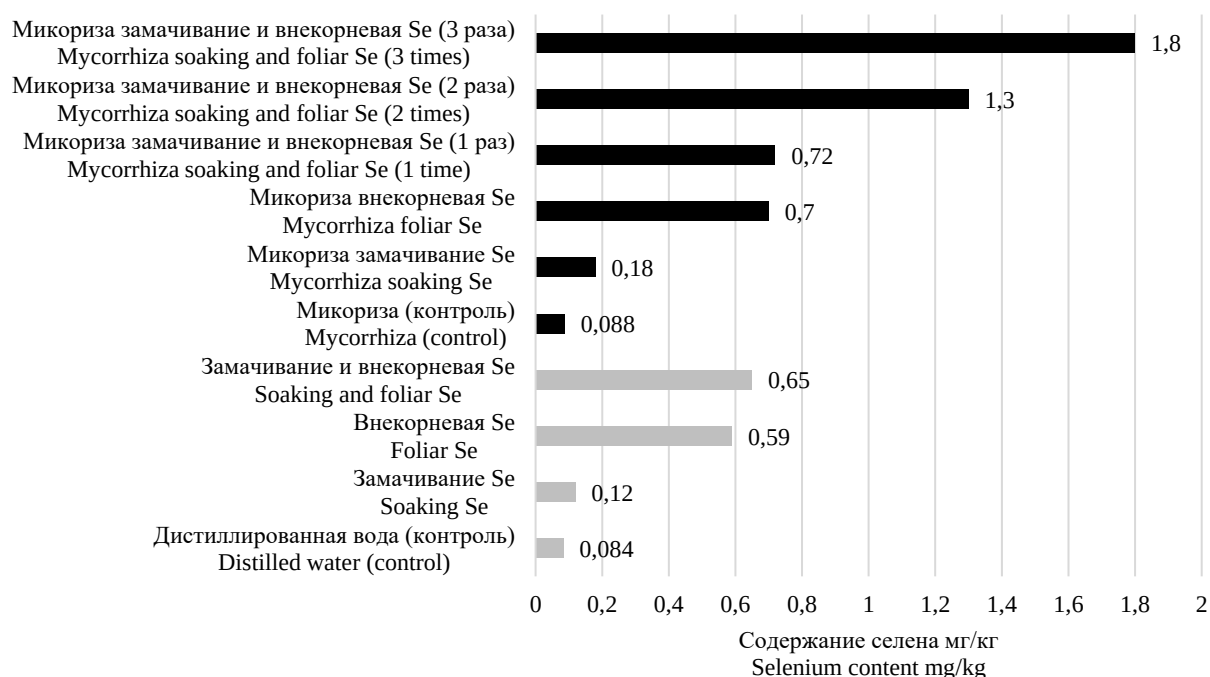


Рисунок 1. Влияние способов обработки раствором селена на концентрацию селена в микрозелени салата

Figure 1. The influence of methods of treatment with selenium solution on the concentration of selenium in lettuce microgreens

Как видно из представленных результатов, максимальное накопление селена (1,8 мг/кг) в микрозелени получено при обработке семян и вегетирующих растений комплексным препаратом микоризы и раствором селенита натрия. Также отмечалось повышение содержания селена в исследуемой микрозелени при различной кратности обработок. При однократной обработке раствором селена с применением препарата «Супер микориза» его содержание в микрозелени составило 0,72 мг/кг, при двукратной обработке – 1,3 мг/кг, что на 81% больше однократной обработки, при троекратной – 1,8 мг/кг, что на 150% больше однократной обработки. На основе полученных данных можно сделать вывод, что накопление селена в обрабатываемой микрозелени зависит от кратности и способов применяемых обработок, что позволяет формировать различные схемы биофортификации микрозелени в зависимости от целей и задач.

Аналогичные результаты динамики накопления были получены при обработке микрозелени

комплексными препаратами цинка сернокислого и микоризы (содержание цинка в микрозелени составило от 98 до 158 мг/кг) и йодистого калия (содержание йода в микрозелени составило от 0,6 до 2 до мг/кг). Было установлено, что обработка растворами селена, цинка и йода не оказывает отрицательного влияния на накопление фотосинтетических пигментов (хлорофилла и каротиноидов), фенольных соединений, витамина С и общей антиоксидантной активности в исследуемых образцах микрозелени, а также не влияет на морфогенез растений.

Для оптимизации технологии биофортификации микрозелени была доказана возможность использования комплексного препарата, содержащего соли цинка и селена (1:1). В результате применения комплексной обработки удалось сократить количество технологических процессов и получить микрозелень, содержащую селен, цинк и йод в количестве до 180 мкг / 100г, 155 мг/кг и 200 мкг / 100г соответственно (рисунок 2).

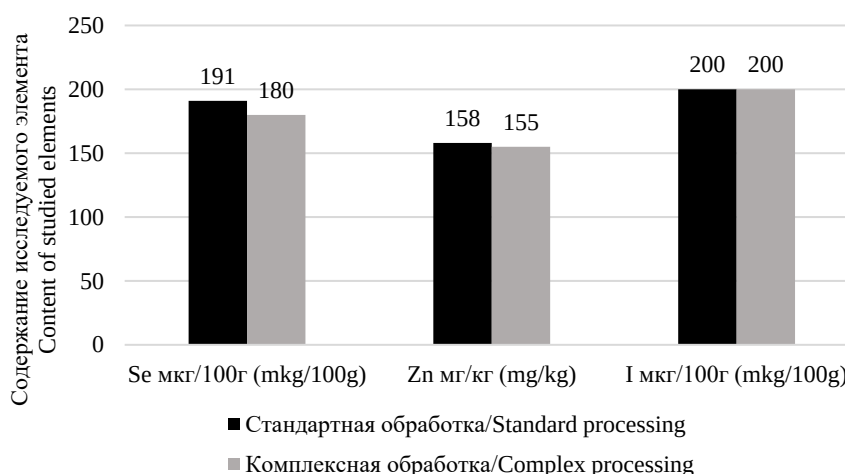


Рисунок 2. Сравнение эффективности комплексного применения растворов Se, Zn и I при обогащении микрозелени  
Figure 2. Comparison of the efficiency of the complex application of Se, Zn and I solutions in enriching microgreen

Для определения спроса молодежи на микрозелень и заинтересованности в ее использовании в рационе питания был проведен опрос молодежи в количестве 50 человек в возрасте 18–23 лет и было установлено, что более 85% молодых людей заинтересованы в использовании продуктов для здорового питания и готовы употреблять микрозелень в своем рационе. На вопрос «Какое количество микрозелени в Вы готовы употреблять в течение суток?» большинство респондентов указали объем микрозелени от 20 до 40 грамм, что соответствует наиболее часто встречающемуся объему вегетирующей микрозелени в упаковке, реализуемой в торговых сетях. Указанное количество микрозелени позволит

повысить содержание витаминов, фенольных соединений и фотосинтетических пигментов в структуре питания молодых людей. По информации, полученной от респондентов, было установлено, что микрозелень наиболее часто используется ими в рецептурах салатов и блюд с микрозеленью (соусы, смузи, сэндвичи), в которых продукт используется в количестве 30–50 грамм. Учитывая количество микрозелени, которое молодые люди готовы использовать в своем рационе питания, нами исследовалась порция микрозелени, составляющая 40 грамм.

На рисунке 3 представлено уровень удовлетворения суточной потребности в селене, цинке и йоде при употреблении 40 г микрозелени.

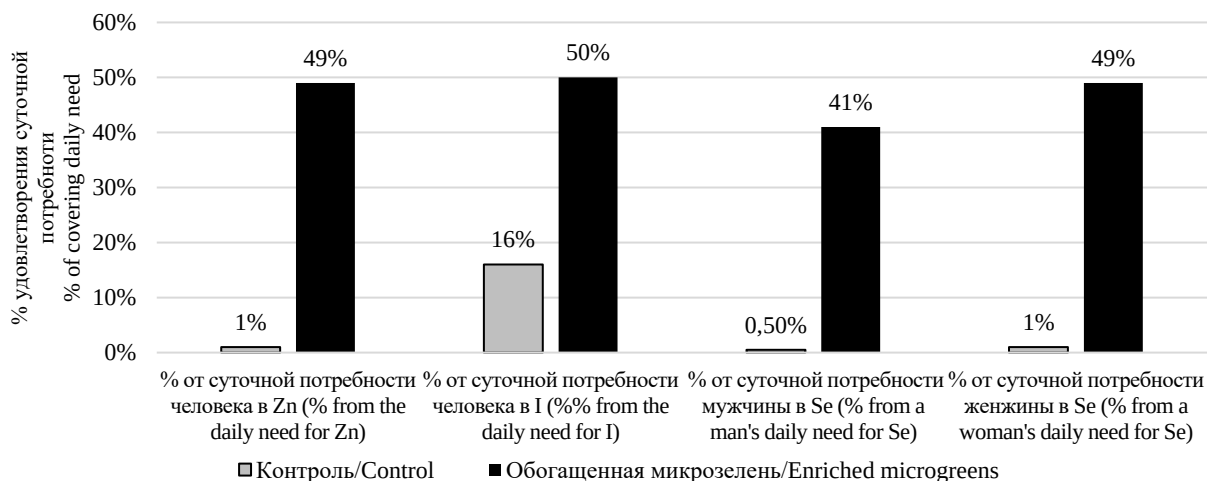


Рисунок 3. Удовлетворение суточной потребности в селене, цинке и йоде при употреблении 40 г микрозелени  
Figure 3. Satisfying the daily requirement for selenium, zinc and iodine with 40 grams of microgreens

На основе результатов можно сделать вывод, что полученная микрозелень согласно ГОСТ Р 52349–2005 может позиционироваться как функциональный пищевой ингредиент для обогащения рациона питания или производства обогащенных пищевых продуктов с содержанием селена, цинка и йода до 30–50%. На основании проанализированных литературных данных и экспериментального исследования влияния диапазона концентраций солей препаратов  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ,  $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{KI}$  на продуктивность, потребительские свойства и уровень обогащения микрозелени, были установлены оптимальные концентрации, рекомендованные для осуществления биофортификации микрозелени при выращивании в фитотроне городского типа. Было установлено, что использование растворов солей йода ( $\text{KI}$ ) в концентрации 250 мг/л, селена ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) в концентрации 50 мкмоль/л и цинка ( $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) в концентрации 1 г/л, являются оптимальными для получения обогащенной микрозелени, которая может быть рекомендована в качестве источника функциональных пищевых ингредиентов.

В результате проведенных исследований было выявлено, что наибольшую концентрацию цинка и селена удастся получить, обрабатывая семена путем замачивания, а затем трехкратной внекорневой обработкой путем опрыскивания микрозелени на 7, 10 и 12 дни после начала вегетации с применением препарата «Супер микориза». Высокого уровня концентрации йода в микрозелени удастся добиться путем разовой обработки на 12 день после начала вегетации. Также важно отметить, что комплексное применение растворов селена и цинка позволяет сохранить высокий уровень обогащения и сократить количество дополнительных технологических операций, что может играть важную роль при широкомасштабном производстве обогащенной микрозелени.

На основании опроса молодых людей в возрасте 18–23 лет и результатов проведенных исследований была установлена рекомендуемая порция разового приема микрозелени, обогащенной цинком, селеном и йодом, которая составила 30–40 граммов. Данное количество микрозелени является рекомендуемым для употребления в течение дня и позволяет удовлетворить суточную потребность организма в йоде на 50%, в селене на 41% для мужчин и на 49% для женщин, и цинке на 49%.

Полученная микрозелень может также использоваться в качестве функционального ингредиента при производстве обогащенных и специализированных пищевых продуктов. В процессе исследований были разработаны пищевые продукты, обогащенные разными культурами микрозелени с повышенным содержанием исследуемых компонентов – смузи и соус. Было установлено, что 100 г. данных продуктов способны удовлетворить суточную потребность организма в селене, цинке и йоде на 20–30%.

### Заключение

В результате проведенных исследований была оптимизирована биотехнология производства обогащенной микрозелени в условиях фитотрона городского типа. Микрозелень, полученная по данной технологии позволяет удовлетворить суточную физиологическую потребность человека в селене на 41–49% для мужчин и женщин соответственно, в йоде на 50%, в цинке – на 49% при употреблении порции 30–40 грамм.

Управляя технологическими параметрами и концентрацией вносимых солей можно регулировать содержание исследуемых элементов в вегетирующей микрозелени и достигать удовлетворения суточной потребности в селене, цинке и йоде до 130%,

что позволяет в широком диапазоне осуществлять корректировку содержания этих минеральных веществ в рационе питания.

Обогащенная микрозелень является перспективным функциональным ингредиентом для производства обогащенных и специализированных продуктов питания для повышения

пищевого статуса населения и обеспечения населения качественными, безопасными и функциональными продуктами питания. В работе были получены опытные образцы смузи и соусов с микрозеленью, содержание цинка, селена и йода в которых составило от 20% до 30% от суточной потребности человека в данных элементах.

### Литература

- 1 Xiao Z., Lester, G.E., Park, E., Saftner, R.A. et al. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens // *Postharvest Biology and Technology*. 2015. V. 110. P. 140-148.
- 2 Yadav L., Koley T., Tripathi. Antioxidant potentiality and mineral content of summer season leafy greens: comparison at mature and microgreen stages using chemometric. *Agric. Res.* 2019 V. 8. P. 165–175.
- 3 Mahya T., Benjamin W., Sigfredo F., Alexis P. et al. Biofortification of kale microgreens with selenate-selenium using two delivery methods: Selenium-rich soilless medium and foliar application // *Scientia Horticulturae*. 2024. V. 323. P. 112522. doi:10.1016/j.scienta.2023.112522
- 4 Michele C., Luigi F., Christophe E., Armando Z. et al. Iodine biofortification of four microgreens species and its implications for mineral composition and potential contribution to the recommended dietary intake of iodine // *Scientia Horticulturae*. 2023. V. 320. P. 112229.
- 5 Pradip P., Erin C., Misha K., Joshua L. et al. Zinc biofortification via fertigation using alternative zinc sources and concentration levels in pea, radish, and sunflower microgreens // *Scientia Horticulturae*. 2024. V. 331. P. 113098.
- 6 Блиникова О.М., Елисеева Л.Г. Методология обогащения плодов и ягод йодом для обеспечения рационального питания населения // *Пищевая промышленность*. 2015. № 9. С. 42–44.
- 7 Ashenafi, E. L., Nyman, M. C., Shelley, J. T., Mattson, N. S. Spectral properties and stability of selected carotenoid and chlorophyll compounds in different solvent systems. *Food Chemistry Advances*. 2023. V. 2. P. 100178.
- 8 Di-Bella M, Niklas A, Toscano S. Morphometric characteristics, polyphenols and ascorbic acid variation in Brassica oleracea L. novel foods: sprouts, microgreens and baby leaves. *Agronomy*. 2020. V. 10 (6). P. 782.
- 9 Винникова А. Р. Кулонометрический метод анализа и его применение // *Актуальные вопросы фармацевтических и естественных наук. Всероссийская науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых с международным участием*. Иркутск, 2022. С. 134-136.
- 10 МУК 31–07/04 «Томьяналит» МВИ содержания йода в пищевых продуктах, продовольственном сырье, кормах и продуктах их переработки, лекарственных препаратах, витаминах, БАДах, биологических объектах (моча) методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. URL: <https://tomanalyt.ru/methods/mu-31-07-04-opredelenie-yoda-v-pishchevoy-produktsii/>
- 11 МУК 31–04/04 «Томьяналит» МВИ массовой концентрации цинка, кадмия, свинца и меди в пищевых продуктах, продовольственном сырье, кормах и продуктах их переработки методом инверсионной вольт-амперометрии на анализаторах типа ТА. URL: <https://tomanalyt.ru/methods/mu-31-04-04-opredelenie-tsinka-kadmiya-svintsa-i-medi-v-pishchevoy-produktsii/>
- 12 МУК 31–21/07 «Томьяналит» МВИ массовой концентрации селена в пищевых продуктах, продовольственном сырье, БАДах методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. URL: <https://tomanalyt.ru/methods/mu-31-21-07-opredelenie-se-v-pishchevoy-produktsii-i-napitkakh/>
- 13 Xiao, Z., Codling, E.E., Luo, Y., Nou, X. et al. Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2016. V. 49 P. 87–93.
- 14 Marchioni, I., Martinelli, M., Ascrizzi, R., Gabbriellini, C. et al. Small functional foods: Comparative phytochemical and nutritional analyses of five microgreens of the Brassicaceae family. *Foods*. 2021. V. 10(2). P. 427.
- 15 Елисеева Л.Г., Сими́на Д.В., Зеленков В.Н., Карпачев В.В. Формирование потребительских свойств нуга абиссинского при выращивании в фитотроне городского типа // *Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. X Международная науч.-практ. конф.* Киров: 2023. С. 57–62.
- 16 Islam M.Z., Park B.J., Kang H.M., Lee Y.T. Influence of Selenium biofortification on the bioactive compounds and antioxidant activity of wheat microgreen extract // *Food Chem*. 2020. V. 309 P. 125763. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125763
- 17 Choe U., Yu L.L., Wang T.T.Y. The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018. V. 66. №44. P. 11519–11530.
- 18 Kyriacou M., El-Nakhelb C., Grazianic G., Pannicob A. et al. Functional quality in novel food sources: Geno-typic variation in the nutritional and phytochemical composition of thirteen micro-greens species // *Food Chemistry*. 2019. V.277. P. 107-118.
- 19 Pant Y., Lingwan M., Masakapalli S.K. Metabolic, biochemical, mineral and fatty acid profiles of edible Brassicaceae microgreens establish them as promising functional food // *Food Chemistry Advances*. 2023. doi: 10.1101/2023.05.17.541100
- 20 Sharma A., Hazarika M., Heisnam P., Pandey H. et al. Factors affecting production, nutrient translocation mechanisms, and LED emitted light in growth of microgreen plants in soilless culture // *ACS Agricultural Science & Technology*. 2023. V. 3. №. 9. P. 701-719.

### References

- 1 Xiao Z. et al. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens // *Postharvest Biology and Technology*. 2015. Vol. 110. pp. 140-148.
- 2 Yadav L., Koley T., Tripathi A (2019). Antioxidant potentiality and mineral content of summer season leafy greens: comparison at mature and microgreen stages using chemometric. *Agric. Res.* Vol. 8. pp. 165–175.

- 3 Mahya T., Benjamin W., Sigfredo F., Alexis P. et al. Biofortification of kale microgreens with selenate-selenium using two delivery methods: Selenium-rich soilless medium and foliar application // *Scientia Horticulturae*. 2024. Vol. 323. pp. 112522. doi: 10.1016/j.scienta.2023.112522
- 4 Michele C., Luigi F., Christophe E., Armando Z. et al. Iodine biofortification of four microgreens species and its implications for mineral composition and potential contribution to the recommended dietary intake of iodine // *Scientia Horticulturae*. 2023. Vol. 320. pp. 112229.
- 5 Pradip P., Erin C., Misha K., Joshua L et al. Zinc biofortification via fertigation using alternative zinc sources and concentration levels in pea, radish, and sunflower microgreens // *Scientia Horticulturae*. 2024. Vol. 331. pp. 113098.
- 6 Blinnikova O.M., Eliseeva L.G. Methodology for enriching fruits and berries with iodine to ensure rational nutrition of the population // *Food Industry*. 2015. no. 9. pp. 42–44. (in Russian).
- 7 Ashenafi, E. L., Nyman, M. C., Shelley, J. T., Mattson, N. S. Spectral properties and stability of selected carotenoid and chlorophyll compounds in different solvent systems. *Food Chemistry Advances*. 2023. Vol. 2. pp. 100178.
- 8 Di-Bella M, Niklas A, Toscano S. Mor-phometric characteristics, polyphenols and ascorbic acid variation in Brassica oleracea L. novel foods: sprouts, microgreens and baby leaves. *Agronomy*. 2020. Vol. 10(6). pp. 782.
- 9 Vinnikova A. R. Coulometric method of analysis and its application // Current issues of pharmaceutical and natural sciences. All-Russian Scientific and Practical conference of students and young scientists with international participation. Irkutsk, 2022. pp. 134-136. (In Russian).
- 10 MG 31–07/04 “Tomanalit” MP of iodine content in food products, food raw materials, feed and their processing products, medications, vitamins, dietary supplements, biological objects (urine) by stripping voltammetry on TA type analyzers (In Russian).
- 11 MG 31–04/04 “Tomanalit” MP mass concentration of zinc, cadmium, lead and copper in food products, food raw materials, feed and their processed products by stripping volt-amperometry on TA type analyzers. (In Russian).
- 12 MG 31–21/07 “Tomanalit” MP mass concentration of selenium in food products, food raw materials, BA-Dakh by stripping voltammetry on TA type analyzers. (In Russian).
- 13 Xiao, Z., Codling, E.E., Luo, Y., Nou, X. et al. Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. *Journal of Food Com-position and Analysis*. 2016. Vol. 49. pp. 87–93.
- 14 Marchioni, I., Martinelli, M., Ascrizzi, R., Gabbriellini, C. et al. Small functional foods: Comparative phytochemical and nutritional analyses of five microgreens of the Brassicaceae family. *Foods*. 2021. Vol. 10(2) pp. 427.
- 15 Eliseeva L.G., Simina D.V., Zelenkov V.N., Karpachev V.V. Formation of consumer properties of Abyssinian nougat when grown in an urban phytotron. Methods and technologies in plant breeding and crop production. Kirov. 2023. pp. 57–62. (In Russian).
- 16 Islam M.Z., Park B.J., Kang H.M., Lee Y.T. Influence of Selenium biofortification on the bioactive compounds and antioxidant activity of wheat microgreen extract // *Food Chem*. 2020. Vol. 309. pp. 125763. doi:10.1016/j.foodchem.2019
- 17 Choe U., Yu L.L., Wang T.T.Y. The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018. Vol. 66. no. 44. pp. 11519–11530.
- 18 Kyriacoua M., El-Nakhelb C., Grazianic G., Pannicob A. et al. Functional quality in novel food sources: Geno-typic variation in the nutritional and phytochemical composition of thirteen micro-greens species // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 277. pp. 107-118.
- 19 Pant Y., Lingwan M., Masakapalli S.K. Metabolic, biochemical, mineral and fatty ac-id profiles of edible Brassicaceae microgreens establish them as promising functional food // *Food Chemistry Advances*. 2023. doi: 10.1101/2023.05.17.541100
- 20 Sharma A. Hazarika M., Heisnam P., Pandey H. et al. Factors affecting production, nutrient translocation mechanisms, and LED emitted light in growth of microgreen plants in soilless culture // *ACS Agricultural Science & Technology*. 2023. Vol. 3. no. 9. pp. 701-719.

#### Сведения об авторах

**Людмила Г. Елисеева** д.т.н., профессор, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия, eliseeva.lg@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2715-9989>

**Дарья В. Сими́на** аспирант, младший научный сотрудник, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия, daria.simina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3543-7125>

**Юрий И. Сидоренко** д.т.н., профессор, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия, sidorenko.yi@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3207-9599>

**Петр И. Токарев** д.б.н., заведующий кафедрой, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия, tokarev.pi@rea.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-2380-4220>

#### Information about authors

**Lyudmila G. Eliseeva** Dr Sci. (Technical.), professor, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, Russia, 115054, eliseeva.lg@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2715-9989>

**Daria V. Simina** Dr. Sci. (Chem.), professor, Место работы (кафедра / отдел / лаборатория), Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, Russia, 115054, daria.simina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3543-7125>

**Yuri I. Sidorenko** Dr Sci. (Technical.), professor, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, Russia, 115054, sidorenko.yi@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3207-9599>

**Petr I. Tokarev** Dr Sci. (Biol.), Head of Department, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane. 36, Moscow, Russia, 115054, tokarev.pi@rea.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-2380-4220>

**Татьяна А. Сантуриян** ведущий специалист, ассистент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия, santuryan.ta@rea.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-9487-9797>

**Tatyana A. Santuryan** Assistant, Leading Specialist, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, Russia, 115054, santuryan.ta@rea.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-9487-9797>

**Вклад авторов**

**Людмила Г. Елисеева** разработка концепции исследования, контроль над выполнением исследований, обзор литературы, написание и коррективировка рукописи  
**Дарья В. Сими́на** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты  
**Юрий И. Сидоренко** участие в разработке технологии  
**Петр И. Токарев** участие в разработке технологии  
**Татьяна А. Сантуриян** обзор литературы, помощь в оформлении рукописи

**Contribution**

**Lyudmila G. Eliseeva** development of the research concept, supervision of research, literature review, writing and editing of the manuscript  
**Daria V. Simina** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations  
**Yuri I. Sidorenko** participation in the development of the technology  
**Petr I. Tokarev** participation in the development of the technology  
**Tatyana A. Santuryan** literature review, assistance in the design of the manuscript

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

|                             |                                       |                                    |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Поступила</b> 23/10/2024 | <b>После редакции</b> 11/11/2024      | <b>Принята в печать</b> 29/11/2024 |
| <b>Received</b> 23/10/2024  | <b>Accepted in revised</b> 11/11/2024 | <b>Accepted</b> 29/11/2024         |

## Интегральная оценка безопасности питьевой воды биотестированием

|                      |              |                                                                |                                                                                                         |
|----------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сергей Л. Калачев    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kalatchev.sl@rea.ru">kalatchev.sl@rea.ru</a>   |  0009-0003-5926-4350 |
| Ирина Б. Леонова     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:leonova.ib@rea.ru">leonova.ib@rea.ru</a>       |  0000-0002-9653-0956 |
| Назиря А. Ибрагимова | <sup>1</sup> | <a href="mailto:ibragimova.na@rea.ru">ibragimova.na@rea.ru</a> |  0000-0001-6349-3365 |
| Ольга В. Фукина      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:fukina.ov@rea.ru">fukina.ov@rea.ru</a>         |  0009-0004-7701-4723 |

1 Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова, Стремянный переулок, д.36, Москва, 115054, Россия

**Аннотация.** Безопасная питьевая вода является одним из ключевых факторов обеспечения высокого уровня качества жизни человека. Современные климатические и экологические проблемы усиливают сложность адекватного решения задачи – обеспечения населения качественной питьевой водой. Самым распространенным способом удовлетворения потребности населения в питьевой воде является центральное водоснабжение. Но даже в странах с высоким уровнем экономического развития потребители зачастую не удовлетворены качеством водопроводной воды, что приводит к росту спроса на бутилированную воду и водоочистные устройства, применяемые в домашних условиях. По данным Роспотребнадзора, в России в 2023 г. около 15% источников воды централизованного водоснабжения не соответствовали санитарно-эпидемиологическим показателям. Процент проб воды из водопроводов (вода перед поступлением в распределительную сеть), не соответствующих санитарно-химическим требованиям, составлял 17,15 %. Увеличение списка загрязнителей питьевой воды заставляет исследователей расширять перечень методов для исследования безопасности воды. В статье рассматривается вопрос отличия качества воды бутилированной и воды, доочищенной бытовыми водоочистными устройствами, от аналогичной водопроводной воды без доочистки. В статье приводятся результаты исследования образцов воды с применением метода биотестирования с использованием тест-объектов дафний (*Daphnia magna* Straus). Анализируется комплексный показатель токсичности проб воды, полученных ее доочисткой семью видами картриджей (фильтров) на разных этапах выработки ресурса картриджей. Результаты показали, что токсичность воды зависит от используемого картриджа и стадии выработки его ресурса. Практическая значимость работы заключается в демонстрации влияния БВУ на безопасность воды и разработке рекомендаций по их использованию для обеспечения высокого качества питьевой воды. Результаты могут быть использованы для оптимизации методов оценки воды и разработки новых стандартов для бытовых фильтров.

**Ключевые слова:** питьевая вода, биотестирование, бытовые водоочистные устройства, дафнии (*Daphnia magna* Straus), картриджи (фильтры), комплексный (интегральный) показатель токсичности.

## Integrated assessment of drinking water safety by biotesting

|                       |              |                                                                |                                                                                                           |
|-----------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sergey L. Kalachev    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kalatchev.sl@rea.ru">kalatchev.sl@rea.ru</a>   |  0009-0003-5926-4350 |
| Irina B. Leonova      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:leonova.ib@rea.ru">leonova.ib@rea.ru</a>       |  0000-0002-9653-0956 |
| Nazirya A. Ibragimova | <sup>1</sup> | <a href="mailto:ibragimova.na@rea.ru">ibragimova.na@rea.ru</a> |  0000-0001-6349-3365 |
| Olga V. Fukina        | <sup>1</sup> | <a href="mailto:fukina.ov@rea.ru">fukina.ov@rea.ru</a>         |  0009-0004-7701-4723 |

1 Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36 Moscow, 115054, Russia

**Abstract.** Safe drinking water is one of the determining factors of human life quality. Modern climate and environmental problems increase the complexity of adequately solving the problem of providing the population with high-quality drinking water. The most common way to meet the need for safe water is central water supply. But even in countries with a high level of economic development, consumers are often dissatisfied with the quality of tap water, which leads to an increase in demand for bottled water and water purification devices used at home. According to Rosпотребнадзор, in Russia in 2023, about 15% of centralized water sources did not meet sanitary and epidemiological indicators. The percentage of water samples from water supply systems (water before entering the distribution network) that did not meet sanitary and chemical requirements was 17.15%. The expanding list of drinking water contaminants is forcing researchers to expand the range of methods for studying water safety. The article examines the question – is there really difference between the quality of bottled water, water purified by household water devices and tap water. The application of the biotesting method using *Daphnia* as test objects is considered as an assessment method. The complex toxicity index of water samples obtained by its additional purification with seven types of cartridges (filters) at different stages of cartridge resource is analyzed. The results showed that the toxicity of water depends on the cartridge used and the stage of its resource development. The practical significance of the work lies in demonstrating the impact of STBs on water safety and developing recommendations on their use to ensure high-quality drinking water. The results can be used to optimize water assessment methods and develop new standards for household filters.

**Keywords:** drinking water, biotesting, household water purification devices, *Daphnia magna* Straus, cartridges (filters), complex (integral) toxicity index.

Для цитирования

Калачев С.Л., Леонова И.Б., Ибрагимова Н.А., Фукина О.В. Интегральная оценка безопасности питьевой воды биотестированием // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 93–107. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-93-107

For citation

Kalachev S.L., Leonova I.B., Ibragimova N.A., Fukina O.V. Integrated assessment of drinking water safety by biotesting. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 93–107. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-93-107

## Введение

Вода необходимое условие для поддержания жизни. Доступ к безопасной питьевой воде ведет к сохранению и улучшению здоровья, и, как следствие, повышению уровня качества жизни. Результатом антропогенного воздействия на окружающую среду является, в том числе, и ухудшение качества источников воды.

При решении вопроса обеспечения населения безопасной питьевой водой возникает ряд проблем, к ключевым можно отнести возникновение новых загрязнителей, фальсифицирование известных брендов воды, применение при производстве бутилированной питьевой воды консервантов. Дополнительные сложности вносит и некорректное использование бытовых водочистных устройств потребителями. Разрешить возникающие проблемы анализа, используя только стандартные химические, физические и санитарно-микробиологические методы, не представляется возможным. В качестве одного из возможных путей комплексного решения проблемы анализа безопасности питьевой воды стоит рассмотреть возможность использования биотестирования.

В последние годы наблюдается быстрое снижение биоразнообразия пресноводных экосистем Европы. Это объясняется изменением климата, загрязнением и другими антропогенными воздействиями на внутренние воды и водно-болотные угодья [1]. Водные ресурсы сейчас истощены до предела во многих частях мира [2]. Поэтому так важно обеспечить адекватное снабжение безопасной водой. Чаще всего данная задача реализуется при помощи центрального водоснабжения.

Реализация принципа водной безопасности во многих странах сталкивается с многочисленными проблемами, такими как недостаточный доступ к безопасной питьевой воде, неэффективные методы управления водными ресурсами, растущее загрязнение источников воды и повышенный спрос на воду из-за роста населения и урбанизации. Изменение климата усугубляет эти проблемы, усиливая засухи, наводнения и засоление.

Водная безопасность становится опорным моментом в дискуссиях об устойчивом развитии во всем мире, поскольку вода является основополагающим связующим звеном между климатом, человеческим обществом и природной средой. Рост населения, неограниченное водопользование и вызванные изменением климата катастрофы, усугубляют риски в вопросах обеспечения водной безопасности.

Растет уровень химического загрязнения водоисточников, что обусловлено увеличением производства и расширением ассортимента

химических веществ. По данным [3] в мире зарегистрировано более 170 млн химических веществ и свыше 150 тысяч из них поступает в окружающую среду. Риски негативных воздействий многих веществ мало изучены. Прогнозируемый годовой рост рынка химических веществ – 3%. Распространение вирусной пневмонии спровоцировало увеличение массового потребления химических дезинфектантов (сильных окислителей – хлора и озона). Хлор и озон в воде образуют ряд новых химических соединений, обладающих мутагенным и канцерогенным воздействием на человека [3].

Экономически развитые страны используют центральное водоснабжение для решения вопроса снабжения населения безопасной водой. Однако и при использовании централизованного водоснабжения существует ряд проблем, к которым можно отнести утечки воды (которые составляют 45 млн м<sup>3</sup> в день), бактерии, которые могут развиваться при застое воды, и неравномерное качество воды в разных регионах [4].

В России в 2019 г. доля источников воды централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим нормам, составляла 14,9%, в 2023 г. – 15,21%. Удельный вес поверхностных источников централизованного питьевого водоснабжения, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям, за период 2014–2023 гг. вырос на 4,76%. Основной причиной несоответствия источников централизованного питьевого водоснабжения санитарно-эпидемиологическим требованиям, как и в предыдущие годы, является отсутствие зон санитарной охраны [5,6].

В целом же, за период с 2014 по 2023 гг. можно отметить, что в Российской Федерации прослеживается тренд на снижение доли источников централизованного водоснабжения, не соответствующих требованиям.

Доля проб воды из источников централизованного водоснабжения, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям в 2023 г. составила 24,6%. В динамике качества питьевой воды из водопроводов (вода перед поступлением в распределительную сеть) наблюдается увеличение доли проб воды, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям, с 16,9% в 2014 г. до 17,15% в 2023 г., при снижении по микробиологическим показателям с 2,92% до 2,21%, и по паразитологическим с 0,08% до 0,04% соответственно.

В 2023 году доля населения России, обеспеченного качественной питьевой водой из централизованных систем водоснабжения, составила 88,59% [6].

Заболевания, связанные с загрязнением питьевой воды, представляют собой серьезную нагрузку на здоровье человека. Сброс неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод в водоемы и окружающую среду является одной из основных причин заболеваний, передающихся через воду, таких как, например, диарея [7, 8].

Риски для здоровья, которые формируются при потреблении загрязненных питьевых вод, осознаются исследователями практически всех стран мира [9].

По данным Роспотребнадзора в 2023 смертность населения по причине болезней органов пищеварения и системы кровообращения, новообразований, некоторых инфекционных и паразитарных заболеваний, болезней органов дыхания и др., ассоциированных с качеством питьевой воды, составила 7,2 случая на 100 тыс. человек. Число случаев заболеваний органов пищеварения, мочеполовой системы, сердечно-сосудистых заболеваний, болезней кожи и других нарушений здоровья, напрямую связанных с загрязнением питьевой воды химическими компонентами и микробиологическими агентами, в абсолютном выражении составило в 2023 г. 1,41 млн человек [6-8].

Желание потреблять чистую питьевую воду и снизить риски возможных заболеваний заставило население многих стран приобретать бутилированную питьевую воду и бытовые водоочистные устройства (далее БВУ).

Потребление бутилированной питьевой воды популярно во многих странах, даже в тех, где качество водопроводной воды находится на высоком уровне. Многие потребители считают, что бутилированная вода безопаснее, отчасти это следствие эффективного маркетинга компаний – производителей бутилированной воды, отчасти результат жесткого государственного регулирования производителей воды путем внедрения высоких требований стандартов. Безусловно, к росту спроса на бутилированную воду ведет и удобство использования и приобретения такой воды. Немаловажным моментом, объясняющим покупку бутилированной воды, является минимальная частота вспышек заболеваний, связанных с бутилированной питьевой водой [10].

Несмотря на жесткие требования к качеству и безопасности питьевой воды, проводимые исследования, показывают, что некоторые образцы воды бутилированной не всегда соответствуют требованиям нормативных документов [11].

Например, в странах Северной Америки существуют жесткие стандарты контроля безопасности бутилированной воды. Однако и в бутилированной воде, продаваемой в Канаде и США был выделен разнообразный спектр

групп микроорганизмов [12]. Несмотря на то, что большинство микроорганизмов, которые определяют в бутилированной воде, не являются патогенными и, соответственно, их наличие в бутилированной воде не представляет опасности для здорового человека, периодически происходит выявление и патогенных бактерий, таких как *Pseudomonas*, *Bacillus* и *Escherichia coli*. Хотя случаи регистрации таких микроорганизмов в бутилированной воде редки. Согласно [13] в 2018 году в США были выявлены только три случая заболеваний, возникших в результате потребления бутилированной воды.

В исследовании [14] показана связь между возникновением ротавирусной инфекции, кишечной инфекции неустановленной этиологии и потреблением питьевой бутилированной воды. В исследуемых образцах воды были обнаружены ДНК/РНК сальмонелл, кампилобактерий, энтеро-норо-аденовирусов. Таким образом, были получены данные, подтверждающие, что бутилированная вода может быть фактором передачи возбудителей острой кишечной инфекции.

В 2024 году в Свердловской области 31 человек пострадали от острой кишечной инфекции после употребления бутилированной воды.

Недоверие к качеству воды централизованного водоснабжения и экономическая затратность приобретения воды бутилированной на постоянной основе, а также неэкологичность и опасения потребителей по поводу наличия частиц микропластика в бутилированной воде ведут к росту спроса на бытовые водоочистные устройства. По оценкам *BusinesStat*, за 2019–2023 гг. производство бытовых фильтров для питьевой воды в России выросло на 13,7%, с 84,2 до 95,8 млн шт. [15].

Спрос на БВУ вызван не только не удовлетворяющим потребителя качеством водопроводной воды, но и маркетинговыми и рекламными стратегиями производителей, акцентирующими внимание на наличие вредных примесей и вреде хлора в водопроводной воде. Мода на здоровый образ жизни, возросшие экономические возможности населения, желание обеспечить детей качественной питьевой водой ведут к росту спроса населения на БВУ.

В целом, укрупненно, системы доочистки воды в домашних условиях можно разделить на три группы:

- проточные водоочистные системы, которые устанавливают под раковину и подключают к системе водопровода;
- фильтры-кувшины – емкости со сменными картриджами (фильтрами);

– фильтры-бутылки – многоразовые бутылки со встроенным фильтром.

Большой популярностью среди потребителей пользуются фильтры-кувшины, что объясняется простотой их использования, дешевизной, возможностью использовать там, где нет централизованного водоснабжения, например, на дачных участках.

Анализ публикаций с результатами исследований качества и безопасности воды, как полученной из систем централизованного водоснабжения, так и бутилированной и доочищенной БВУ, показывает, что, в целом, к рискам опасного воздействия воды относятся:

– увеличение химического антропогенного прессинга на источники водозабора и их деградация;

– появление новых контаминантов, не учтенных в нормативных документах, с неизвестными рисками;

– фальсификация и введение в заблуждение потребителей;

– использование консервантов при производстве бутилированной питьевой воды;

– ухудшение потребительских свойств бутилированной питьевой воды при нарушении условий хранения в торговле (деградации полиэтилентерефталата, появления ацетальдегида и др. веществ, не учтенных нормативными документами);

– некорректное использование бытовых водоочистных устройств (нецелевое применение при отсутствии достоверной информации о составе очищаемой воды и наработке картриджа).

Таким образом, как в питьевой бутилированной, так и доочищенной воде возможно присутствие ранее неучтенных контаминантов, которые не определяются стандартными методами химического, физического и санитарно-микробиологического анализа. Учитывая трудности выявления контаминантов, установления их концентраций и характера их изменений, совместного токсического действия специалисты рекомендуют использовать для экспресс оценки безопасности воды методы биотестирования.

Биотесты комплексно и интегрально позволяют оценить наличие или отсутствие рисков опасности в воде на основе регистрации общебиологических характеристик биологических объектов. В России вопросами биотестирования занимался ряд известных токсикологов: Л.П. Брагинский, Е.А. Веселов, Л.А. Лесников, В.И. Дукьяненко, С.А. Патин, Н.С. Строганов, Б.А. Флеров и др.

Биотестирование – метод биологического анализа, который начали применять в Англии, США и Франции в 20 веке. Метод основан на использовании тест-объектов, реагирующих на все виды загрязнений независимо от их природы и дающих

комплексную интегральную оценку безопасности воды для организмов.

В СССР биотестирование начали разрабатывать в 1930-х годах. Со второй половины 20 века регулярно проводить биотестирование с помощью *Daphnia magna* [21-24].

Биотестирование – один из методов определения степени токсического действия физических, химических и биологических неблагоприятных факторов среды, потенциально опасных для живых организмов, в контролируемых экспериментальных лабораторных или натуральных условиях путем регистрации изменений биологически значимых показателей исследуемых водных объектов с последующей оценкой их состояния в соответствии с выбранными критериями токсичности [15].

Безопасность характеризуется показателями токсичности, которые устанавливают по биологическому состоянию тест-объектов. Токсичность – свойство воды, обусловленное наличием в ней токсических веществ, характеризующих способность воды нарушать жизнедеятельность тест-организмов [30]. Показатель токсичности – это интегральный показатель, отражающий совокупное действие многих компонентов загрязнения.

Значение показателя токсичность имеет градации и является относительным показателем. Различают острую и хроническую токсичность.

Показатель острой токсичности – показывает непосредственную опасность или безопасность воды для здоровья, а также степень риска при использовании воды.

В качестве тест-объектов при биотестировании могут быть использованы как одноклеточные, так и растения, рыбы, крысы, кровь, отдельные клетки и т. д. К наиболее популярным тест-объектам относятся дафнии, инфузории, водоросли, люминесцирующие бактерии. Предпринимались попытки использовать плоских червей планарий *Dugesia tigrina* для оценки качества питьевой бутилированной воды [15,16, 24, 25].

Популярность такого тест-объекта как инфузории (*Paramecium caudatum*) вызвана тем, что они сочетают в себе признаки отдельной деятельности клетки и целого организма, могут рассматриваться как простые рецепторно-рефлекторные системы, обладающие способностью реагировать на токсическое воздействие целым комплексом биологических, физиологических, и биохимических изменений: скоростью размножения, направлением и скоростью перемещения, реверсией ресничной активности, питанием, поглощением из среды различных веществ и др. Простейшие широко распространены в водной среде и широко культивируются в лабораторных условиях. На этой культуре

отработаны методики содержания в опытных условиях и критерии токсичности. Инфузории широко применяются для определения токсических воздействий пестицидов в острых и хронических опытах. Оценка проводится по морфологическим (форма и размер клеток) и физиологическим (поведение, локомоторная функция, выживаемость, функционирование сократительных вакуолей) показателям.

Ракообразные *Daphnia magna* являются классическим объектом биотестирования. Предложены в 1934 году Науманном. В 70-х годах прошлого века отражены как тест-объект для исследования качества вод во многих национальных и международных стандартах. Являются чувствительными организмами для определения острой токсичности. *Daphnia magna* чувствительна к неорганическим ионам, в частности к ионам серебра, ртути, кадмия, хромата, бихромата, цианида и йодида.

В результате применения исследователями метода биотестирования было разработано множество методических указаний по биотестированию природных и сточных вод, такие как «Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний» [17], «Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов» [18] и др.

Исследователи осуществляют оценку токсичности загрязнений на основе различных поведенческих критериев гидробионтов, состояния их организма:

- выживаемость и смертность;
- снижение или стимуляция интенсивности размножения;
- скорость воспроизведения;
- качество потомства;
- продолжительность жизни;
- аномалии развития (заболевания, уродства);
- частота сердцебиения;
- изменение содержания гликогена, потребление кислорода, интенсивность дыхания, ингибирование фотосинтеза;
- содержание коллагена у рыб;
- скорость регенерации частей тела;
- изменение характера поведения, изменение пигментации и др. [20].

Филенко О.Ф. предложил деление на частные и интегральные тест-функции. Интегральные – характеризуют состояние системы наиболее обобщенно, давая суммарный ответ о состоянии системы, к ним относят показатели выживаемости, роста, плодовитости, к частным

отнесены физиологические, биохимические, гистологические показатели.

Из современных методик биотестирования для проведения исследований на наличие риска опасного воздействия на живой организм наиболее удобны методики, позволяющие проводить исследование в течение нескольких часов, суток. Этому критерию соответствуют методики биотестирования с использованием таких тест-объектов, как инфузории и дафнии. Данные методики не требуют применения дополнительных сложных измерительных средств, тест-объекты относительно легко и доступно культивируются [19,26].

Большинство проводимых исследований используют методы биотестирования для оценки состояния сточных и природных вод, водоемов, в том, числе рыбных хозяйств, донных отложений, отработанных буровых растворов, уровня загрязненности территории. Данное исследование направлено на определение эффективности применения метода биотестирования для оценки безопасности воды питьевой бутилированной и воды, полученной из источников центрального водоснабжения, доочищенной бытовыми водоочистными устройствами.

Актуальность данного исследования связана с ростом интереса к поиску новых подходов к оценке качества и безопасности воды, ростом спроса населения воду бутилированную и на бытовые водоочистные устройства и, как следствие, необходимости выявления влияния данных устройств на качество и безопасность питьевой воды. Полученные результаты позволят пополнить базу современных данных о влиянии бытовых водоочистных устройств на качество питьевой воды, значимости их применения в домашних хозяйствах. Практическая значимость исследования – апробация и оценка возможностей применения методики биотестирования питьевой воды, направленной на выявление рисков от установленных контаминантов и иных опасных воздействий питьевой воды, прошедшей доочистку в бытовых условиях с помощью БВУ, установление наличия разницы во влиянии воды бутилированной и воды, доочищенной разными фильтрами, с разным уровнем выработки ресурса, на дафний.

## Материалы и методы

Целью исследования является:

- оценка влияния воды питьевой бутилированной разного химического состава на дафний;
- выявление отличий в качестве воды питьевой, доочищенной водоочистными устройствами при помощи разных картриджей (фильтров)

с разной выработкой ресурса, путем оценки влияния образцов воды на выживаемость дафний;

– сравнить полученные результаты комплексной оценки токсичности для тест-объектов *Daphnia magna Straus* воды питьевой бутилированной и воды, доочищенной БВУ;

– на основе проведенного исследования рассмотреть возможности применения методов биотестирования с использованием тест-объектов *Daphnia magna Straus* в качестве интегрального (комплексного) метода оценки безопасности и качества питьевой воды.

При проведении исследований, направленных на оценку питьевой воды целесообразно использовать такие тест-объекты как *Daphnia magna Straus*, инфузории *Paramecium caudatum*

и ряд других. В рамках данного исследования были выбраны *Daphnia magna Straus*. Критериями выбора тест-объекта явились:

– доступность и легкость воспроизводства в лабораторных условиях;

– отсутствие необходимости использования для измерений дорогостоящих специальных технических средств;

– простота пробоподготовки;

– наличие апробации применения и стандартных методик тестирования;

– возможность комплексной оценки наличия опасных воздействий исследуемых образцов воды.

Сводная характеристика выбранного тест-объекта представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Сводная характеристика *Daphnia magna Straus* как тест-объекта, применяемого в исследовании токсичности воды питьевой доочищенной БВУ

Table 1.

Summary characteristics of *Daphnia magna Straus* as a test object used in the study of the toxicity of drinking water purified by the HWD

| Характеристика<br>Characteristic                                                                                                                                                                                                       | Описание<br>Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Первое применение для биотестирования<br>First application for biotesting                                                                                                                                                              | Предложена в 1934 г. Науманном. Используются в качестве тест-объектов с 1940-х гг.<br>Proposed in 1934 by Naumann. Used as test objects since the 1940s.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Нормативные документы на применение тест-объекта для исследования питьевой воды на токсичность<br>Regulatory documents on the use of a test object for testing drinking water toxicity                                                 | ISO 6341:2012 Water quality – Determination of the inhibition of the mobility of <i>Daphnia magna Straus</i> (Cladocera, Crustacea) – Acute toxicity test.<br>ГОСТ Р 56236–2014 Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных <i>Daphnia magna Straus</i> .<br>Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов [18].<br>ISO 6341:2012 Water quality – Determination of the inhibition of the mobility of <i>Daphnia magna Straus</i> (Cladocera, Crustacea) – Acute toxicity test.<br>GOST R 56236–2014 Water. Determination of toxicity by survival of freshwater crustaceans <i>Daphnia magna Straus</i> .<br>Guide to determination of toxicity of waters, bottom sediments, pollutants and drilling fluids by biotesting [18].                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Сущность метода<br>The essence of the method                                                                                                                                                                                           | Регистрация выживаемости <i>Daphnia magna Straus</i> в анализируемой пробе исследуемого объекта относительно контрольной пробы, определении ее токсичности и токсикологических показателей при тестировании в течение 24–96 ч.<br>Registration of the survival rate of <i>Daphnia magna Straus</i> in the analyzed sample of the studied object relative to the control sample, determination of its toxicity and toxicological parameters during testing for 24–96 hours.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Методы биотестирования позволяют определять токсичность исследуемых объектов и следующие токсикологические показатели:<br>Biotesting methods allow determining the toxicity of studied objects and following toxicological indicators: | – средняя эффективная кратность разбавления (ЭКР50) пробы, вызывающая гибель или иммобилизацию 50% тест-организмов;<br>– безвредная кратность разбавления пробы (ЭКР10), вызывающая отклонение тест-параметров – выживаемости или иммобилизации – за 48 ч (96 ч) не более 10% относительно контрольной пробы;<br>– средняя эффективная концентрация (ЭК50) растворов веществ, вызывающую гибель или иммобилизацию 50% тест-организмов;<br>– безвредную концентрацию (ЭК10) растворов веществ, вызывающую отклонение тест-параметров – выживаемости или иммобилизации – за 48 ч не более 10% относительно контрольной пробы.<br>– average effective dilution factor (AEF50) of the sample causing death or immobilization of 50% of test organisms;<br>– harmless dilution factor (AEF10) of the sample causing deviation of test parameters – survival or immobilization – in 48 hours (96 hours) of no more than 10% relative to the control sample;<br>– average effective concentration (EC50) of substances solution causing death or immobilization of 50% of test organisms;<br>– harmless concentration (EC10) of substances solution causing deviation of test parameters – survival or immobilization – in 48 hours of no more than 10% relative to the control sample. |
| Критерий токсичности<br>Toxicity criterion                                                                                                                                                                                             | Достоверное отличие от контроля показателя выживаемости и плодовитости дафний.<br>Significant difference from the control in the survival rate and fertility of daphnia.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

В настоящее время для анализа токсического эффекта проводят тесты, различающиеся продолжительностью экспонирования (острая и хроническая токсичность).

На первом этапе исследования устанавливали острую токсичность проб воды – продолжительность эксперимента составляла 24 часа, на втором этапе проводили тест на хроническую токсичность – продолжительность эксперимента составляла 48 и 72 часа.

В качестве тест-объекта использовали 6–7-дневных особей дафний. Тест объекты помещали в емкости с исследуемой водой (100 мл). Исследуемые образцы воды получали следующим образом: 50% исходной среды культивирования дафний смешивали с 50% пробами воды питьевой бутилированной. Аналогично готовили и образцы проб воды, доочищенной бытовыми водоочистными устройствами с разной степенью выработки ресурса картриджа устройств.

При проведении эксперимента контролировались следующие параметры – температура воды, освещенность, pH, минерализация. Тестируемая вода при использовании в качестве тест-объекта *Daphnia magna Straus* должна быть нагрета до температуры  $20 \pm 2$  °C., pH 7,0–8,3, минерализация – не выше 6,0 г/дм<sup>3</sup>.

Критерием оценивания комплексного показателя токсичности служила

выживаемость тест-организмов в условиях переменного воздействия света и постоянной температуры воды. Пробы исследуемой воды при определении токсичности могут вызывать гибель всех тест-объектов. Поэтому было проведено разбавление проб как описано выше.

Параллельно проводился контрольный эксперимент, в ходе которого дафнии были помещены в исходную среду культивирования.

Время гибели рачков отмечали по наступлении неподвижности (иммобилизации). Иммобилизация – неспособность дафний к движению, рачки лежат на дне емкости, плавательные движения отсутствуют и не возобновляются после легкого встряхивания емкости.

После окончания эксперимента проводили визуальный подсчет выживших дафний и расчет процента выживаемости.

Показателем выживаемости служит среднее количество тест-объектов, выживших в тестируемой воде или в контроле за период от 24 до 72 часов. Критерием токсичности является гибель 50 и более% дафний за период времени от 24 до 72 часов в тестируемой воде по сравнению с контролем.

Эксперимент ставился в пяти повторностях. Характеристика исследуемых образцов воды питьевой бутилированной представлена в таблице 2.

Таблица 2.

Характеристика образцов воды питьевой бутилированной

Table 2.

Characteristics of bottled drinking water samples

| Минеральный состав<br>Mineral composition                                                                                                                                                                                                                                                              | Материал тары и средства укупорки<br>Container and closure material |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| гидрокарбонат, кальций, магний, фториды; общая минерализация 0,3–0,7 г/дм <sup>3</sup><br>hydrocarbonate, calcium, magnesium, fluorides; total mineralization 0.3–0.7 g/dm <sup>3</sup>                                                                                                                | ПЭТ и ПЭВП*<br>PET and HDPE                                         |
| натрий, кальций, магний, сульфаты, фториды, гидрокарбонаты; общая минерализация не более 0,7 г/ дм <sup>3</sup><br>sodium, calcium, magnesium, sulfates, fluorides, hydrocarbonates; total mineralization no more than 0.7 g/dm <sup>3</sup>                                                           | ПЭТ и ПЭВП<br>PET and HDPE                                          |
| кальций, магний, натрий, калий, сульфаты, хлориды, гидрокарбонаты, нитраты, диоксид кремния; общая минерализация 0,3–0,75 г/дм <sup>3</sup><br>calcium, magnesium, sodium, potassium, sulfates, chlorides, hydrocarbonates, nitrates, silicon dioxide; total mineralization 0.3–0.75 g/dm <sup>3</sup> | ПЭТ и ПЭВП<br>PET and HDPE                                          |
| кальций, магний, натрий, гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, фториды; общая минерализация 0,999 г/дм <sup>3</sup><br>calcium, magnesium, sodium, hydrocarbonates, sulfates, chlorides, fluorides; total mineralization 0.999 g/dm <sup>3</sup>                                                          | ПЭТ и ПЭВП<br>PET and HDPE                                          |
| кальций, натрий, калий, гидрокарбонаты; общая минерализация 0,1–0,3 г/дм <sup>3</sup><br>calcium, sodium, potassium, hydrocarbonates; total mineralization 0.1–0.3 g/dm <sup>3</sup>                                                                                                                   | ПЭТ и ПЭВП<br>PET and HDPE                                          |
| Примечание: ПЭТ и ПЭВП – полиэтилентерефталат и полиэтилен высокой плотности<br>Note: PET – polyethylene terephthalate; HDPE – high density polyethylene                                                                                                                                               |                                                                     |

Количество исследуемых проб воды, доочищенной БВУ, определялось количеством картриджей (фильтров), используемых для доочистки воды и ресурсом работы фильтров. Нами были использованы фильтры после выработки 20 и 50% ресурса.

Все используемые картриджи (фильтры) были закодированы (А, В, С, D, E, F), характеристики фильтров (картриджей) представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Характеристика исследуемых картриджей (фильтров) бытовых водоочистных устройств

Table 3.

Characteristics of the studied cartridges (filters) of household water purification devices

| Обозначение<br>Designation | Назначение (по данным изготовителей)<br>Purpose (according to manufacturers)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Ресурс, л<br>Resource,<br>l | Сорбционный материал<br>Sorbent material                                                                                                                                                                                     | Срок службы,<br>заявленный<br>изготовителем, мес.<br>Service life declared<br>by the manufacturer,<br>months |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A                          | Уменьшает избыточную жесткость воды и образование накипи, устраняет неприятный вкус и запах, задерживает вредные примеси<br>Reduces excess water hardness and scale formation, eliminates unpleasant taste and odor, traps harmful impurities                                                                                                                                                                                                             | 170                         | Кокосовый гранулированный активированный уголь, ионообменные смолы, сорбционные материалы, обработанные серебром Ag+<br>Coconut granulated activated carbon, ion exchange resins, sorption materials treated with silver Ag+ | Срок не указан изготовителем<br>The period is not specified by the manufacturer                              |
| B                          | Снижает избыточную жесткость. Доочистка воды от хлора, органических примесей, металлов, пестицидов, нефтепродуктов<br>Reduces excess hardness. Additional purification of water from chlorine, organic impurities, metals, pesticides, petroleum products                                                                                                                                                                                                 | 300                         | Активированный уголь, серебро Ag + в несмываемой металлической форме, ионообменные смолы<br>Activated carbon, silver Ag+ in permanent metallic form, ion exchange resins                                                     | 1–1,5                                                                                                        |
| C                          | Удаляет посторонние примеси, уменьшает содержание ионов кальция и хлора, уменьшает образование накипи, улучшает вкус<br>Removes foreign impurities, reduces calcium and chlorine ions, reduces scale formation, improves taste                                                                                                                                                                                                                            | 150                         | Кокосовый гранулированный активированный уголь, сорбционные волокнистые материалы<br>Coconut granulated activated carbon, sorption fibrous materials                                                                         | 1–3                                                                                                          |
| D                          | Удаляет посторонние примеси, уменьшает содержание ионов кальция и хлора, уменьшает образование накипи, улучшает вкус<br>Removes foreign impurities, reduces calcium and chlorine ions, reduces scale formation, improves taste                                                                                                                                                                                                                            | 150                         | Кокосовый гранулированный активированный уголь, сорбционные волокнистые материалы<br>Coconut granulated activated carbon, sorption fibrous materials                                                                         | 1–3                                                                                                          |
| E                          | Удаляет вредные примеси, хлор, ртуть, фенолы, пестициды, нефтепродукты, алюминий, тяжелые металлы, снижает образование накипи, защищает от ржавчины, умягчает воду, удаляет неприятный вкус и запах<br>Removes harmful impurities, chlorine, mercury, phenols, pesticides, petroleum products, aluminum, heavy metals, reduces scale formation, protects against rust, softens water, removes unpleasant taste and odor                                   | 300                         | Кокосовый гранулированный активированный уголь, сорбционные волокнистые материалы с серебром Ag+<br>Coconut granulated activated carbon, sorption fibrous materials with silver Ag+                                          | 3                                                                                                            |
| F                          | Удаление примесей механического происхождения, а также хлора, хлороорганических соединений, пестицидов, нефтепродуктов, фармпрепаратов, железа в растворенном виде, тяжелых металлов, посторонних запахов и привкусов, предотвращает рост бактерий<br>Removes mechanical impurities, chlorine, chlororganic compounds, pesticides, petroleum products, pharmaceuticals, dissolved iron, heavy metals, foreign odors and tastes, prevents bacterial growth | 200                         | Кокосовый гранулированный активированный уголь, обработанный серебром Ag+, ионообменное волокно<br>Coconut granulated activated carbon treated with silver Ag+, ion exchange fiber                                           | 1–3                                                                                                          |

## Результаты

Для подтверждения или опровержения влияния БВУ на качество питьевой воды путем оценки воздействия полученных образцов воды на выживаемость дафний все эксперименты были поставлены в пятикратной повторности. Была проведена оценка острой и хронической

токсичности (отличается продолжительностью воздействия). По истечении необходимого промежутка времени производился подсчет выживших и вновь народившихся дафний.

Результаты эксперимента по выявлению влияния воды питьевой бутилированной на тест-объекты *Daphnia magna* Straus представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Результаты исследования влияния питьевой воды бутилированной на тест-объект *Daphnia magna* Straus, острый и хронический опыты

Table 4.

Study of the bottled drinking water effect on the test object *Daphnia magna* Straus, acute and chronic experiments

| Продолжительность экспонирования, ч<br>Exposure duration, h | Номер образца<br>Sample number | Среднеарифметическое значение количества выживших тест-организмов, шт.<br>Average number of surviving test organisms, pcs | Процент гибели тест-организмов, %<br>Percentage of test organisms death, % |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 24                                                          | 1                              | 5,0                                                                                                                       | 0                                                                          |
|                                                             | 2                              | 5,0                                                                                                                       | 0                                                                          |
|                                                             | 3                              | 5,0                                                                                                                       | 0                                                                          |
|                                                             | 4                              | 5,0                                                                                                                       | 0                                                                          |
|                                                             | 5                              | 0,0                                                                                                                       | 100                                                                        |
|                                                             | Контроль   Control             | 4,8                                                                                                                       | 4                                                                          |
| 48                                                          | 1                              | 5,0                                                                                                                       | 0                                                                          |
|                                                             | 2                              | 4,8                                                                                                                       | 4                                                                          |
|                                                             | 3                              | 4,6                                                                                                                       | 8                                                                          |
|                                                             | 4                              | 4,8                                                                                                                       | 4                                                                          |
|                                                             | 5                              | 0,0                                                                                                                       | 100                                                                        |
|                                                             | Контроль   Control             | 4,6                                                                                                                       | 8                                                                          |
| 72                                                          | 1                              | 4,6                                                                                                                       | 8                                                                          |
|                                                             | 2                              | 4,8                                                                                                                       | 4                                                                          |
|                                                             | 3                              | 4,2                                                                                                                       | 16                                                                         |
|                                                             | 4                              | 4,0                                                                                                                       | 20                                                                         |
|                                                             | 5                              | 0,0                                                                                                                       | 100                                                                        |
|                                                             | Контроль   Control             | 3,6                                                                                                                       | 28                                                                         |

Полученные результаты говорят о том, что, в целом, исследуемая вода питьевая бутилированная не оказывала негативного влияния на выживаемость тест-объектов в сравнении с контролем. Это показали как эксперименты на острую, так и хроническую токсичность.

Однако смертность тест-объекта *Daphnia magna* Straus в присутствии образца № 5 составила 100%.

На основе экспериментальных данных (таблица 4) в соответствии с методикой (ГОСТ 56236–2014) был рассчитан показатель острой и хронической токсичности (таблица 5).

Таблица 5.

Оценка токсичности проб питьевой воды бутилированной на тест-объекты *Daphnia magna* Straus

Table 5.

Toxicity assessment of bottled drinking water samples on test objects *Daphnia magna* Straus

| Образец<br>Sample   | Токсичность анализируемых проб   Toxicity of analyzed samples |                         |                                            |                              |                           |                            |
|---------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                     | Острая токсичность<br>Acute toxicity                          |                         | Хроническая токсичность   Chronic toxicity |                              |                           |                            |
|                     | t = 24 ч.<br>t = 24 hours                                     | A о.т.*, %<br>A a.t., % | t = 48 ч.<br>t = 48 hours                  | A хр. т.**, %<br>A chr.t., % | t = 72 ч.<br>t = 72 hours | A хр. т., %<br>A chr.t., % |
| 1                   | Не токсично<br>Non toxic                                      | –4,2                    | Не токсично<br>Non toxic                   | –8,7                         | Не токсично<br>Non toxic  | –27,8                      |
| 2                   | Не токсично<br>Non toxic                                      | –4,2                    | Не токсично<br>Non toxic                   | –4,3                         | Не токсично<br>Non toxic  | –33,3                      |
| 3                   | Не токсично<br>Non toxic                                      | –4,2                    | Не токсично<br>Non toxic                   | 0,0                          | Не токсично<br>Non toxic  | –16,7                      |
| 4                   | Не токсично<br>Non toxic                                      | –4,2                    | Не токсично<br>Non toxic                   | –4,3                         | Не токсично<br>Non toxic  | –11,1                      |
| 5                   | Токсично<br>Toxic                                             | 100,0                   | Токсично<br>Toxic                          | 100,0                        | Токсично<br>Toxic         | 100,0                      |
| Контроль<br>Control | Не токсично<br>Non toxic                                      |                         | Не токсично<br>Non toxic                   |                              | Не токсично<br>Non toxic  |                            |

Примечание: • А о.т. – Острая токсичность анализируемых проб; \*\*А хр. т. – Хроническая токсичность анализируемых проб  
Note: • А о.т. – Acute toxicity of analyzed samples; \*\*А хр. т. – Chronic toxicity of analyzed samples

Значения показателя токсичности четырех из пяти образцов имеют отрицательные значения показателя токсичности в течение всей продолжительности эксперимента (таблица 5), что говорит, что о том, что исследуемые образцы воды питьевой бутилированной благоприятным образом влияли на выживаемость дафний, в сравнении с контрольным образцом. Образец воды под номером пять проявил токсичность на уровне 100%.

Полученные в ходе эксперимента данные о влиянии воды питьевой, доочищенной БВУ, позволяют говорить о различии в реакциях тест-объектов дафний на образцы воды, полученной путем доочистки питьевой воды разными картриджами (фильтрами) (таблица 6).

На основе экспериментальных данных (таблица 6) в соответствии с методикой (ГОСТ 56236–2014) был рассчитан показатель острой и хронической токсичности (таблица 7).

Результаты исследования влияния питьевой воды, доочищенной БВУ (после отработки 20% ресурса), на тест-объект *Daphnia magna* Straus, острый и хронический опыты

Table 6.

Results of the study of the influence of drinking water, additionally purified by HWD (after 20% of the resource has been exhausted), on the test object *Daphnia magna* Straus, acute and chronic experiments

| Продолжительность экспонирования, ч<br>Exposure duration, h | Номер образца<br>Sample number | Среднеарифметическое значение количества выживших тест-организмов, шт.<br>Average number of surviving test organisms, pcs | Процент гибели тест-организмов, %<br>Percentage of test organisms death, % |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 24                                                          | A                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | B                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | C                              | 0,8                                                                                                                       | 84                                                                         |
|                                                             | D                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | E                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | F                              | 5,0                                                                                                                       | 0                                                                          |
|                                                             | Контроль   Control             | 4,8                                                                                                                       | 4                                                                          |
| 48                                                          | A                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | B                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | C                              | 0,8                                                                                                                       | 84                                                                         |
|                                                             | D                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | E                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | F                              | 5,0                                                                                                                       | 0                                                                          |
|                                                             | Контроль   Control             | 4,6                                                                                                                       | 8                                                                          |
| 72                                                          | A                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | B                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | C                              | 0,8                                                                                                                       | 84                                                                         |
|                                                             | D                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | E                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | F                              | 5,0                                                                                                                       | 0                                                                          |
|                                                             | Контроль   Control             | 3,6                                                                                                                       | 28                                                                         |

Таблица 7.

Оценка токсичности проб питьевой воды, доочищенной БВУ (после отработки 20% ресурса), на тест-объекты *Daphnia magna* Straus

Table 7.

Assessment of the toxicity of samples of drinking water, additionally purified by the second-generation water treatment plant (after 20% of the resource has been used up), for *Daphnia magna* Straus test

| Образец<br>Sample   | Токсичность анализируемых проб   Toxicity of analyzed samples |                         |                                             |                              |                           |                            |
|---------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                     | Острая токсичность<br>Acute toxicity                          |                         | Хроническая токсичность<br>Chronic toxicity |                              |                           |                            |
|                     | t = 24 ч.<br>t = 24 hours                                     | A о.т.*, %<br>A a.t., % | t = 48 ч.<br>t = 48 hours                   | A xp. т.**, %<br>A chr.t., % | t = 72 ч.<br>t = 72 hours | A xp. т., %<br>A chr.t., % |
| A                   | Токсично<br>Toxic                                             | 100,0                   | Токсично<br>Toxic                           | 100,0                        | Токсично<br>Toxic         | 100,0                      |
| B                   | Токсично<br>Toxic                                             | 100,0                   | Токсично<br>Toxic                           | 100,0                        | Токсично<br>Toxic         | 100,0                      |
| C                   | Токсично<br>Toxic                                             | 83,3                    | Токсично<br>Toxic                           | 82,6                         | Токсично<br>Toxic         | 77,8                       |
| D                   | Токсично<br>Toxic                                             | 100,0                   | Токсично<br>Toxic                           | 100,0                        | Токсично<br>Toxic         | 100,0                      |
| E                   | Токсично<br>Toxic                                             | 100,0                   | Токсично<br>Toxic                           | 100,0                        | Токсично<br>Toxic         | 100,0                      |
| F                   | Не токсично<br>Non toxic                                      | -4,2                    | Не токсично<br>Non toxic                    | -8,7                         | Не токсично<br>Non toxic  | -38,9                      |
| Контроль<br>Control | Не токсично<br>Non toxic                                      |                         | Не токсично<br>Non toxic                    |                              | Не токсично<br>Non toxic  |                            |

Примечание: • A о.т. – Острая токсичность анализируемых проб; \*\*A xp. т. – Хроническая токсичность анализируемых проб  
Note: • A о.т. – Acute toxicity of analyzed samples; \*\*A xp. т. – Chronic toxicity of analyzed samples

Большое значение при использовании БВУ для доочистки питьевой воды играет выработка ресурса картриджа (фильтра). Производители фильтров гарантируют, что при использовании картриджей в соответствии с инструкцией, на всем протяжении выработки ресурса картриджа на выходе будет получена вода стабильного

качества. Представлялось целесообразным сопоставить показатели выживаемости дафний в воде питьевой, доочищенной картриджем с выработкой 20% и картриджем с выработкой 50% ресурса.

В таблице 8 показаны данные исследования питьевой воды, доочищенной БВУ после отработки 50% ресурса.

Таблица 8.

Результаты исследования влияния питьевой воды, доочищенной БВУ (после отработки 50% ресурса), на тест-объект *Daphnia magna* Straus, острый и хронический опыты

Table 8.

Study of the influence of drinking water, additionally purified by HWD (after 50% of the resource has been exhausted), on the test object *Daphnia magna* Straus, acute and chronic experiments

| Продолжительность экспонирования, ч<br>Exposure duration, h | Номер образца<br>Sample number | Среднеарифметическое значение количества выживших тест-организмов, шт.<br>Average number of surviving test organisms, pcs | Процент гибели тест-организмов, %<br>Percentage of test organisms death, % |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 24                                                          | A                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | B                              | 4,8                                                                                                                       | 4                                                                          |
|                                                             | C                              | 4,8                                                                                                                       | 4                                                                          |
|                                                             | D                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | E                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | F                              | 4,8                                                                                                                       | 4                                                                          |
|                                                             | Контроль   Control             | 5,0                                                                                                                       | 0                                                                          |
| 48                                                          | A                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | B                              | 4,6                                                                                                                       | 8                                                                          |
|                                                             | C                              | 4,0                                                                                                                       | 20                                                                         |
|                                                             | D                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | E                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | F                              | 4,6                                                                                                                       | 8                                                                          |
|                                                             | Контроль   Control             | 4,6                                                                                                                       | 8                                                                          |
| 72                                                          | A                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | B                              | 4,6                                                                                                                       | 8                                                                          |
|                                                             | C                              | 3,0                                                                                                                       | 40                                                                         |
|                                                             | D                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | E                              | 0                                                                                                                         | 100                                                                        |
|                                                             | F                              | 3,8                                                                                                                       | 24                                                                         |
|                                                             | Контроль   Control             | 3,8                                                                                                                       | 24                                                                         |

Данные, полученные в результате анализа влияния воды, доочищенной БВУ с 50%-ной выработкой ресурса, на тест-объекты дафнии уже существенно варьируются. Но вода, полученная после фильтрации через картриджи А, D, Е также, как и в эксперименте с фильтрами с 20%-ной выработкой ресурса показала сильное отрицательное влияние на выживаемость дафний, уже в течение первых 24 часов все дафнии погибли. При этом фильтры В и С после израсходования половины ресурса, на выходе стали давать такую степень очистки воды, которая положительным образом сказалась на выживаемости дафний. В остром опыте выживаемость дафний в водной среде, полученной путем доочистки воды фильтрами В, С и F составила 96%, что лишь на 4% уступает значению показателя контрольного опыта, где выживаемость составила 100%.

Однако в эксперименте на хроническую токсичность продолжительностью 48 часов количество выживших дафний начало сокращаться. Для фильтров В и F оно составило 92%, а для фильтра С только 80%, для контрольного опыта – 92%. В эксперименте продолжительностью 72 часа значение показателя выживаемости для фильтра В осталось на прежнем уровне (92%), для фильтра F сократилось до 76%, самое же низкое значение среди трех рассматриваемых фильтров показал фильтр С – 60%. При этом, необходимо отметить, что выживаемость в контрольном опыте составила 76%, т. е. выживаемость дафний в воде, доочищенной фильтром В, была выше, чем в контрольной пробе.

На основе экспериментальных данных (таблица 8) был рассчитан показатель острой и хронической токсичности (таблица 9). Расчет произведен в соответствии с методикой (ГОСТ 56236–2014).

Таблица 9.

Оценка токсичности проб питьевой воды, доочищенной БВУ (после отработки 50% ресурса), на тест-объект *Daphnia magna* Straus

Table 9.

Evaluation of toxicity of drinking water samples, additionally purified by BVU (after 50% of the resource has been exhausted), on the test object *Daphnia magna* Straus

| Образец<br>Sample | Токсичность анализируемых проб   Toxicity of analyzed samples |                         |                                             |                              |                           |                            |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                   | Острая токсичность<br>Acute toxicity                          |                         | Хроническая токсичность<br>Chronic toxicity |                              |                           |                            |
|                   | t = 24 ч.<br>t = 24 hours                                     | A о.т.*, %<br>A a.t., % | t = 48 ч.<br>t = 48 hours                   | A хр. т.**, %<br>A chr.t., % | t = 72 ч.<br>t = 72 hours | A хр. т., %<br>A chr.t., % |
| 1                 | 2                                                             | 3                       | 4                                           | 5                            | 6                         | 7                          |
| A                 | Токсично<br>Toxic                                             | 100,0                   | Токсично<br>Toxic                           | 100,0                        | Токсично<br>Toxic         | 100,0                      |
| B                 | Не токсично<br>Non toxic                                      | 4,0                     | Не токсично<br>Non toxic                    | 0                            | Не токсично<br>Non toxic  | -21,1                      |

Продолжение таблицы 9 | Continuation of table 9

| 1                   | 2                        | 3     | 4                        | 5     | 6                                | 7     |
|---------------------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| C                   | Не токсично<br>Non toxic | 4,0   | Не токсично<br>Non toxic | 13,04 | Слабо токсично<br>Slightly toxic | 21,1  |
| D                   | Токсично<br>Toxic        | 100,0 | Токсично<br>Toxic        | 100,0 | Токсично<br>Toxic                | 100,0 |
| E                   | Токсично<br>Toxic        | 100,0 | Токсично<br>Toxic        | 100,0 | Токсично<br>Toxic                | 100,0 |
| F                   | Не токсично<br>Non toxic | 4,0   | Не токсично<br>Non toxic | 0     | Не токсично<br>Non toxic         | 0     |
| Контроль<br>Control | Не токсично<br>Non toxic |       | Не токсично<br>Non toxic |       | Не токсично<br>Non toxic         |       |

Примечание: \*А о.т. – Острая токсичность анализируемых проб; \*\*А хр. т. – Хроническая токсичность анализируемых проб  
Note: • А о.т. – Acute toxicity of analyzed samples; \*\*А хр. т. – Chronic toxicity of analyzed samples

В образцах воды, доочищенной фильтрами А, D, E (с выработкой ресурса на 50%), тест-объекты дафнии не выжили. Питательная вода, полученная после доочистки данными фильтрами, проявила острые токсические свойства.

Образцы воды, доочищенные фильтрами В, F, не проявили ни острой токсичности (4,0%), ни хронической токсичности.

Образцы питьевой воды, доочищенные картриджом С, показали слабую токсичность при экспонировании 72 ч. (21,1%), но не проявили ни острой токсичности при экспонировании 24 ч., ни хронической токсичности при экспонировании 48 ч. (13,04%).

### Обсуждение

Анализируя полученные результаты, была выявлена следующая тенденция – вода питьевая, доочищенная фильтрами с выработкой 20% ресурса оказала сильное угнетающее действие на жизнедеятельность дафний. По данным таблицы 6, большинство дафний, помещенных в исследуемые образцы воды (при 50% разбавлении), погибли уже в первые 24 часа исследования. Никакого угнетающего эффекта не оказала только вода, доочищенная фильтром F.

В образцах воды питьевой, доочищенной фильтрами А, В, D, E, выживаемость тест-объектов равнялась нулю, т. е. тест-объекты дафнии не выжили. Таким образом, можно говорить о том, что питьевая вода, полученная после доочистки данными фильтрами, проявила острые токсические свойства. В образце воды, доочищенном фильтром С, выживаемость составляла 16%, что согласно вышеописанному критерию, также говорит о токсичности анализируемой пробы воды. При этом образец воды, доочищенный фильтром F, создал наиболее комфортные условия для жизни дафний, что выразилось в значении показателя выживаемости, превысившего контрольное значение. При определении острой токсичности при экспонировании 24 ч. – на 4,2%, хронической токсичности при экспонировании 48 ч. – на 8,7%, хронической токсичности при экспонировании 72 ч. – на 38,9%.

Таким образом, можно сказать, что рассматриваемые картриджи по-разному влияют на питьевую воду, несмотря на схожесть сорбционных материалов картриджей.

Результаты анализа образцов питьевой воды, доочищенной БВУ с 50%-ной выработкой ресурса, имели уже менее выраженную негативную тенденцию. Часть фильтров, так же как в эксперименте с 20%-ной выработкой ресурса картриджа, проявили острую токсичность и привели к гибели всех тест-объектов в течение первых 24 часов эксперимента. При этом обработка питьевой воды двумя фильтрами В и С практически никак не отразилась на выживаемости дафний в сравнении с контролем при определении острой токсичности, в то время как при выработке этими фильтрами 20% ресурса они оказывали токсичное действие на дафний. В процессе проведения эксперимента на хроническую токсичность (продолжительность более 24 часов) вода, доочищенная этими фильтрами (В и С), не проявила токсичности или была мало токсична, однако, в сравнении с экспериментом на острую токсичность количество выживших дафний стало сокращаться.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов говорят о том, что между БВУ существует значительная разница, несмотря на использование похожих сорбционных материалов. После доочистки получается вода питьевая, обладающая разными свойствами, с разными значениями показателя токсичности. Часть фильтров проявила токсичные свойства, а часть благотворно влияла на тест-объекты.

Выявлена существенная разница в воде питьевой, доочищенной БВУ с разной степенью выработки ресурса. Значение показателя токсичности говорит о том, что вода, полученная доочисткой картриджами, выработавшими 50% ресурса, обладает меньшими значениями показателя токсичности, в том числе, хронической токсичности.

Возможно, это связано с тем, что на этапе израсходования картриджом всего 20% ресурса, при фильтровании из картриджа в воду выделяются какие-то вещества, негативным образом влияющие на выживаемость дафний, в то время

как при израсходовании 50% ресурса фильтра миграция этих веществ замедляется или останавливается. Но для установления верности данной гипотезы необходимо обширное исследование химического состава образцов воды, после доочистки всеми рассмотренными картриджами. Без проведения полномасштабного химического исследования крайне затруднительно объяснить – почему вода после фильтрации одним и тем же картриджем при выработке 20% ресурса обладала токсичным воздействием на выживаемость дафний, а при 50% выработки ресурса не оказала никакого токсичного воздействия на дафний. Данную закономерность показали два фильтра в пятикратной повторности эксперимента. При этом еще у одного из фильтров была отмечена противоположная тенденция – при анализе воды, доочищенной картриджем с 20% выработкой ресурса, вода положительным образом влияла на выживаемость и рождаемость дафний по сравнению с контролем, но при увеличении выработки данного картриджа вода после доочистки картриджем, оказывала на дафний такое же влияние как среда культивирования.

Данный факт требует дальнейшего исследования, так как производители БВУ утверждают, что на протяжении всего ресурса картриджа происходит доочищение воды равным образом.

Выявленные отличия в питьевой воде, доочищенной картриджами с разной выработкой ресурса, не могут быть результатом ошибки или погрешности, так как схожие данные были получены при пятикратном повторении эксперимента, что свидетельствует о достоверности полученных результатов.

Полученные результаты оценки влияния воды питьевой бутилированной показали, что большинство образцов не повлияли на выживаемость дафний отрицательным образом, за исключением образца воды под номером 5, которой уже в процессе проведения эксперимента на острую токсичность вызвал гибель 100% тест-объектов. Это может свидетельствовать о содержании в этом образце воды определенных веществ, которые формируют условия, оказывающие токсичное

действие на данные организмы. При этом интересным представляется тот факт, что образец воды под номером пять отличался самым низким уровнем общей минерализации.

Четыре из пяти образцов воды бутилированной имели отрицательные значения комплексного показателя токсичности, т. е. тест-объекты, помещенные в исследуемую бутилированную воду, чувствовали себя лучше (были выше показатели рождаемости и выживаемости), чем в привычной им среде культивирования, служившей контролем.

### Заключение

Результаты проведенного исследования показывают, что определение комплексного показателя токсичности можно использовать с целью выявления отличий в качестве воды питьевой, как бутилированной, так и доочищенной бытовыми водоочистными устройствами. Однако, можно отметить, что одних только данных биотестирования недостаточно, чтобы однозначно сказать, почему между водой, доочищенной разными фильтрами, и водой питьевой бутилированной имеет место такая существенная разница в показателе токсичности.

Проведенные исследования показали эффективность использования биотестирования как метода анализа качества питьевой воды, доочищенной бытовыми водоочистными устройствами. Перспективным представляется дальнейшее изучение влияния БВУ на качество и безопасность воды при помощи биотестирования, но с проведением параллельных экспериментов с задействованием иных тест-объектов. В нашем понимании следующим этапом должно стать использование водорослей и инфузорий, как наиболее неприхотливых и дешевых тест-объектов. Также вызывает интерес апробация воды питьевой бутилированной и доочищенной воды на простейших червях – планариях. Целесообразным представляется совмещение эксперимента биотестирования воды с физико-химическим исследованием образцов воды.

### Литература

- 1 Tickner D., Opperman J., Abell R., Acreman M. et al. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan // *Bioscience*. 2020. V. 70. № 4. P. 330–342.
- 2 Grizzetti B., Lanzanova D., Lique C., Reynaud A. et al. Assessing water ecosystem services for water resource management // *Environmental Science & Policy*. 2016. V.61. P.194–203.
- 3 Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Анализ пищевых рисков и безопасность водного фактора // *Анализ риска здоровью*. 2018. № 4. С. 31–42.
- 4 Zaitseva N., Kleyn S., Vekovshina S.A., Glukhikh M. The quality of drinking water of centralized water supply systems and its impact on public health // *The International Conference «Health and wellbeing in modern society»*. *Advances in Health Sciences Research*. 2020. V. 28. P.369–374.
- 5 Клейн С.В., Вековшина С.А. Приоритетные факторы риска питьевой воды систем централизованного питьевого водоснабжения, формирующие негативные тенденции в состоянии здоровья населения // *Анализ риска здоровью*. 2020. № 3. С. 49–60.
- 6 Ferreira M.M., Fiore F., Saron A., Da Silva G. Systematic review of the last 20 years of research on decentralized domestic wastewater treatment in Brazil: state of the art and potentials // *Water Science and Technology*. 2021. V. 84. № 12. P. 3469–3488.

- 7 Hafeez A., Shamair Z., Shezad N., Javed F. et al. Solar powered decentralized water systems: a cleaner solution of the industrial wastewater treatment and clean drinking water supply challenges // *Journal of Cleaner Production*. 2020. V. 289. P.125717.
- 8 Bi B., Liu X., Gu X., Lu S. Occurrence and risk assessment of heavy metals in water, sediment, and fish from Dongting Lake, China // *Environmental Science and Pollution*. 2018. V. 25. № 34. P. 34076–34090.
- 9 Danilo M.V.B., Oluwadara A., Anderson S.S. Microbial diversity and ecology of bottled water // *Current opinion in food science*. 2024. V. 60. P. 101218.
- 10 Лавров К.Л. О потреблении, качестве и безопасности воды питьевой бутилированной // Конкурентоспособность территорий: XIX Всероссийский эконом. форум молодых ученых и студентов: в 8 ч., Екатеринбург, 27–28 апреля 2016 года. Часть 7. 2016. С. 205–208.
- 11 Амбарцумян Л.И., Губа Е.Н., Гусева М.В., Диянова С.Н. и др. Проблемы качества и безопасности бутилированной питьевой воды // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2018. Т. 364, № 4. С. 96–99.
- 12 Curutiu C., Iordache F., Gurban P., Lazar V. et al. Main microbiological pollutants of bottled waters and beverages // *Bottled and Packaged Water. The science of beverages*. Woodhead Publishing. 2019.V. 4. P. 403–422.
13. Kunz J.M., Lawinger H., Miko S. et al. Surveillance of waterborne disease outbreaks associated with drinking water – United States, 2015–2020 // *MMWR Surveillance Summaries*. 2024. V.73. № 1. P.1–23.
- 14 Сергеев В.И., Тряслобова М.А., Рыжаенков В.Г. Может ли бутилированная вода оказаться фактором передачи возбудителей острых кишечных инфекций? // *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2014. № 4. С. 24–27.
- 15 Eliseeva L.G., Makhotina I.A., Gorozhanin P.P., Yurina O.V. Experience in the application of bioassays with planarian in the studies of drinking bottled water safety // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015. V. 6. № 264. P. 29–33.
- 16 ГОСТ Р 56236–2014 Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных *Daphnia magna* Straus. – М.: Стандартинформ, 2016. – 40 с.
- 17 ФР.1.39.2007.03222. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков, сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Москва, «Акварос». 2007. 51 с.
- 18 Министерство природных ресурсов РФ. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. Москва. 2002. РЭФИА, НИА-Природа. 61 с.
- 19 Кряжевских А.А., Бардина В.И., Скларова Н.А. Методы биотестирования для обнаружения лекарственных средств в водной среде // *Формулы фармации*. 2022. Т. 4, № 1. С. 61–69.
- 20 Saksonov M.N., Balayan A.E., Kashina N.F., Barkhatova O.A. Comparison of the sensitivity of biotesting techniques in determining the toxicity of heavy metals and phenolic compounds // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. V.18. P.207–212.
- 21 Строганов Н.С., Исакова Е.Ф., Колосова Л.В. Метод биотестирования качества вод с использованием дафний // *Методы биоиндикации и биотестирования природных вод*. 1987. №. 1. С. 5–12.
- 22 Флеров Б.А. Сравнительное изучение реакций избегания токсических веществ у некоторых водных животных // *Физиология и паразитология пресноводных животных*. Л., 1979. С. 81–87.
- 23 Гаевский Н.А., Горбанева Т.Б. Морфофизиологические реакции клеток микроводорослей на действие токсикантов в искусственных и природных экосистемах // *Состояние водных экосистем Сибири и перспективы их использования*. Томск, 1998. С. 312–313.
- 24 Лукьянцева Л.В. Биологическое тестирование природных вод // *Состояние водных экосистем Сибири и перспективы их использования*. Томск, 1998. С. 329–330.
- 25 Олькова А. С. Актуальные направления развития методологии биотестирования водных сред" Вода и экология: проблемы и решения. 2018. №2 (74). С. 40-50.
- 26 Чащин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., Одланд И.О. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // *Экология человека*. 2014. № 1. С. 3–12.

## References

- 1 Tickner D., Opperman J., Abell R., Acreman M. et al. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan // *Bioscience*. 2020.Vol. 70. no. 4. pp. 330–342.
- 2 Grizzetti B., Lanzanova D., Lique C., Reynaud A. et al. Assessing water ecosystem services for water resource management // *Environmental Science & Policy*. 2016. Vol. 61. pp. 194–203.
- 3 Rakhmanin Yu.A., Mikhailova R.I. Analysis of food risks and water factor safety // *Risk Analysis to Health*. 2018. no. 4. pp. 31–42. (in Russian).
- 4 Zaitseva N., Kleyn S., Vekovshinina S.A., Glukhikh M. The quality of drinking water of centralized water supply systems and its impact on public health // *The International Conference «Health and wellbeing in modern society»*. Advances in Health Sciences Research. 2020. Vol. 28. pp. 369–374.
- 5 Klein S.V., Vekovshinina S.A. Priority risk factors of drinking water in centralized water supply systems forming negative trends in public health // *Risk Analysis to Health*. 2020. no. 3. pp. 49–60. (in Russian).
- 6 Ferreira M.M., Fiore F., Saron A., Da Silva G. Systematic review of the last 20 years of research on decentralized domestic wastewater treatment in Brazil: state of the art and potentials // *Water Science and Technology*. 2021. Vol. 84. no. 12. pp. 3469–3488.
- 7 Hafeez A., Shamair Z., Shezad N., Javed F. et al. Solar powered decentralized water systems: a cleaner solution of the industrial wastewater treatment and clean drinking water supply challenges // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 289. pp. 125717.
- 8 Bi B., Liu X., Gu X., Lu S. Occurrence and risk assessment of heavy metals in water, sediment, and fish from Dongting Lake, China // *Environmental Science and Pollution*. 2018. Vol. 25. no. 34. pp. 34076–34090.
- 9 Danilo M.V.B., Oluwadara A., Anderson S.S. Microbial diversity and ecology of bottled water // *Current Opinion in Food Science*. 2024. Vol. 60. pp. 101218.
- 10 Lavrov K.L. Consumption, quality, and safety of bottled drinking water // *Competitiveness of Territories: Materials of the XIX All-Russian Economic Forum of Young Scientists and Students: in 8 parts, Yekaterinburg, April 27–28, 2016. Part 7*. 2016. pp. 205–208. (in Russian).

- 11 Ambartsumyan L.I., Guba E.N., Guseva M.V., Dianova S.N. et al. Problems of quality and safety of bottled drinking water // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Food Technology. 2018. Vol. 364. no. 4. pp. 96–99. (in Russian).
- 12 Curutiu C., Iordache F., Gurban P., Lazar V. et al. Main microbiological pollutants of bottled waters and beverages // Bottled and Packaged Water. The Science of Beverages. Woodhead Publishing. 2019. Vol. 4. pp. 403–422.
- 13 Kunz J.M., Lawinger H., Miko S. et al. Surveillance of waterborne disease outbreaks associated with drinking water – United States, 2015–2020 // MMWR Surveillance Summaries. 2024. Vol. 73. no. 1. pp. 1–23.
- 14 Sergevnnin V.I., Tryasolobova M.A., Ryzhayenkov V.G. Can bottled water be a factor in the transmission of acute intestinal infections? // Epidemiology and Infectious Diseases. 2014. no. 4. pp. 24–27. (in Russian).
- 15 Eliseeva L.G., Makhotina I.A., Gorozhanin P.P., Yurina O.V. Experience in the application of bioassays with planarian in the studies of drinking bottled water safety // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. Vol. 6. no. 264. pp. 29–33.
- 16 State Standard 56236–2014. Water. Determination of toxicity based on the survival of freshwater crustaceans *Daphnia magna* Straus. Moscow: Standartinform, 2016. 40 p. (in Russian).
- 17 FR.1.39.2007.03222. Biological control methods. Methodology for determining the toxicity of water and water extracts from soil, sediments, wastewater, and waste based on the mortality and fertility changes in daphnia. Moscow, Aquaros, 2007. 51 p. (in Russian).
- 18 Ministry of Natural Resources of the Russian Federation. Guidelines for determining the toxicity of water, bottom sediments, pollutants, and drilling fluids by biotesting. Moscow, REFIA, NIA-Priroda, 2002. 61 p. (in Russian).
- 19 Kryazhevskikh A.A., Bardina V.I., Sklyarova N.A. Biotesting methods for detecting pharmaceuticals in aquatic environments // Formulas of Pharmacy. 2022. Vol. 4. no. 1. pp. 61–69. (in Russian).
- 20 Saksonov M.N., Balayan A.E., Kashina N.F., Barkhatova O.A. Comparison of the sensitivity of biotesting techniques in determining the toxicity of heavy metals and phenolic compounds // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Vol. 18. pp. 207–212.
- 21 Stroganov N.S., Isakova E.F., Kolosova L.V. Method of biotesting water quality using daphnia // Methods of Bioindication and Biotesting of Natural Waters. 1987. no. 1. pp. 5–12. (in Russian).
- 22 Flerov B.A. Comparative study of avoidance reactions to toxic substances in some aquatic animals // Physiology and Parasitology of Freshwater Animals. Leningrad, 1979. pp. 81–87. (in Russian).
- 23 Gaevsky N.A., Gorbaneva T.B. Morphophysiological reactions of microalgae cells to toxicants in artificial and natural ecosystems // State of Aquatic Ecosystems in Siberia and Prospects for Their Use. Tomsk, 1998. pp. 312–313. (in Russian).
- 24 Lukyantseva L.V. Biological testing of natural waters // State of Aquatic Ecosystems in Siberia and Prospects for Their Use. Tomsk, 1998. pp. 329–330. (in Russian).
- 25 Olkova A.S. Current trends in the development of methodologies for biotesting aquatic environments // Water and Ecology: Problems and Solutions. 2018. no. 2 (74). pp. 40–50. (in Russian).
- 26 Chashchin V.P., Gudkov A.B., Popova O.N., Odland I.O. Characteristics of the main risk factors for public health in territories with active natural resource use in the Arctic // Human Ecology. 2014. no. 1. pp. 3–12. (in Russian).

#### Сведения об авторах

**Сергей Л. Калачев** к.т.н., доцент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова, Стремянный пер, 36, г. Москва, 115054, Россия, kalatchev.sl@rea.ru

<https://orcid.org/0009-0003-5926-4350>

**Ирина Б. Леонова** к.т.н., доцент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова, Стремянный пер, 36, г. Москва, 115054, Россия, leonova.ib@rea.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9653-0956>

**Назиря А. Ибрагимова** к.т.н., доцент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова, Стремянный пер, 36, г. Москва, 115054, Россия, ibragimova.na@rea.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6349-3365>

**Ольга В. Фукина** д.т.н., профессор, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова, Стремянный пер, 36, г. Москва, 115054, Россия, fukina.ov@rea.ru

<https://orcid.org/0009-0004-7701-4723>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Sergey L. Kalachev** Cand. Sci. (Tech.), associate professor, department of Commodity expertise and customs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36 Moscow, 115054, Russia, kalatchev.sl@rea.ru

<https://orcid.org/0009-0003-5926-4350>

**Irina B. Leonova** Cand. Sci. (Tech.), associate professor, department of Commodity expertise and customs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36 Moscow, 115054, Russia, leonova.ib@rea.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9653-0956>

**Nazirya A. Ibragimova** Cand. Sci. (Tech.), associate professor, department of Commodity expertise and customs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36 Moscow, 115054, Russia, ibragimova.na@rea.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6349-3365>

**Olga V. Fukina** Doctor. Sci. (Tech.), professor, department of Commodity expertise and customs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36 Moscow, 115054, Russia, fukina.ov@rea.ru

<https://orcid.org/0009-0004-7701-4723>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 30/10/2024 | После редакции 14/11/2024      | Принята в печать 25/11/2024 |
| Received 30/10/2024  | Accepted in revised 14/11/2024 | Accepted 25/11/2024         |

## Обоснование используемого сырья и компонентного состава для производства обогащенных хлебобулочных изделий

|                                   |                                                              |                                                                                                         |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Дмитрий И. Девяткин <sup>1</sup>  | <a href="mailto:devyatkd@mail.ru">devyatkd@mail.ru</a>       |  0000-0002-5457-1613 |
| Наталия А. Лесникова <sup>1</sup> | <a href="mailto:lista507@rambler.ru">lista507@rambler.ru</a> |  0000-0001-6765-7064 |
| Денис С. Мысаков <sup>1</sup>     | <a href="mailto:mysakov_ds@usue.ru">mysakov_ds@usue.ru</a>   |  0000-0003-0514-9413 |

<sup>1</sup> Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия

**Аннотация.** Стремление поддерживать здоровый образ жизни определяет структуру спроса граждан Российской Федерации на продукты питания первой необходимости. Разработка новых технологий и рецептов продукции здорового питания является актуальной задачей для производителей, является приоритетным направлением Министерства здравоохранения и поддерживается на государственном уровне. Основной тенденцией развития хлебопекарного производства является увеличение спроса населения на хлебобулочные изделия специального назначения, а также на функционально-обогащенные продукты. Предпочтение отдается изделиям, не уступающим по качеству продукции традиционного наименования, успешность реализации такой продукции определяется временными и технологическими затратами. При подборе используемых в производстве функциональных пищевых ингредиентов важно учитывать не только их влияние на компонентный состав и качество готовой продукции, но и на особенности ведения технологического процесса. Так, использование сочетания конопляной муки с арабиногалактаном в рецептуре хлеба из пшеничной обойной муки позволяет уменьшить продолжительность замеса и брожения теста, расстойки и выпечки хлеба. Проведенный органолептический анализ готовых изделий показал, что запах, форма, поверхность, состояние мякиша при замещении пшеничной муки на 6 и 8 % конопляной муки и 2,5 % арабиногалактана фактически не изменились. Вносимые добавки замедляют процесс старения хлеба, о чем свидетельствуют проведенные физико-химические испытания. Установлен срок хранения обогащенного хлеба – 3 суток при температуре  $20 \pm 2$  °С. Исследованиями доказано, что внесение биологически активных добавок в хлеб увеличивает антиоксидантную способность, которая по истечению 3 суток хранения снижается на 18 %.

**Ключевые слова:** функциональный хлеб, арабиногалактан, конопляная мука, водопоглотительная способность, сенсорный профиль, срок годности, антиоксидантная активность.

## Justification of the raw materials used and the component composition for the production of enriched bakery products

|                                   |                                                              |                                                                                                           |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dmitry I. Devyatkin <sup>1</sup>  | <a href="mailto:devyatkd@mail.ru">devyatkd@mail.ru</a>       |  0000-0002-5457-1613 |
| Natalia A. Lesnikova <sup>1</sup> | <a href="mailto:lista507@rambler.ru">lista507@rambler.ru</a> |  0000-0001-6765-7064 |
| Denis S. Mysakov <sup>1</sup>     | <a href="mailto:mysakov_ds@usue.ru">mysakov_ds@usue.ru</a>   |  0000-0003-0514-9413 |

<sup>1</sup> Ural State University of Economics, ul. 8 Marta/Narodnoy Voli, 62/45Yekaterinburg, 620144, Russia

**Abstract.** The desire to maintain a healthy lifestyle determines the structure of the demand of citizens of the Russian Federation for essential food. The development of new technologies and formulations of healthy food products is an urgent task for manufacturers, is a priority of the Ministry of Health Protection and is supported at the state level. The main trend in the development of bakery production is an increase in the demand of the population for bakery products for special purposes, as well as for functionally enriched products. Preference is given to products that are not inferior in quality to products of the traditional name, the success of the sale of such products is determined by time and technological costs. When selecting functional food ingredients used in production, it is important to take into account not only their effect on the component composition and quality of finished products, but also on the specifics of the technological process. Thus, the use of a combination of hemp flour with arabinogalactan in the recipe of bread made from wheat flour makes it possible to reduce the duration of kneading and fermentation of dough, proofing and baking bread. The organoleptic analysis of the finished products showed that the smell, shape, surface, and condition of the crumb did not actually change when wheat flour was replaced with 6 and 8 % hemp flour and 2.5 % arabinogalactan. The added additives slow down the aging process of bread, as evidenced by the conducted physico-chemical tests. The shelf life of enriched bread is 3 days at a temperature of  $20 \pm 2$  °C. Studies have proven that the introduction of biologically active additives into bread increases the antioxidant capacity, which decreases by 18 % after 3 days of storage.

**Keywords:** functional bread, arabinogalactan, hemp flour, water absorption capacity, sensory profile, shelf life, antioxidant activity.

### Введение

Повышение пищевой и биологической ценности хлеба как продукта первой необходимости в потребительской корзине россиян является актуальной задачей для производителей с учетом тенденции повышения спроса потребителей на нетрадиционные наименования продукта [1].

Поддерживаемое на государственном уровне развитие ассортимента наиболее популярных видов продукции, обогащенных биологически активными пищевыми ингредиентами, направлено на устранение дефицита витаминов и минеральных веществ в питании граждан Российской Федерации [2–4]. Для достижения успешности от внедрения в промышленное производство

#### Для цитирования

Лесникова Н.А., Девяткин Д.И., Мысаков Д.С. Обоснование используемого сырья и компонентного состава для производства обогащенных хлебобулочных изделий // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 108–115. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-108-115

#### For citation

Lesnikova N.A., Devyatkin D.I., Mysakov D.S. Justification of the raw materials used and the component composition for the production of enriched bakery products. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 108–115. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-108-115

новых подходов в технологии обогащенного хлеба значимым аспектом является анализ факторов, определяющих технологические параметры производства, качество и пищевую полноценность конечного продукта [5–7].

Научная новизна исследования заключается в исследовании динамики физико-химических процессов на основных этапах производства хлеба при внесении биологически активных компонентов; а также в анализе пищевой ценности и антиоксидантной активности хлеба обновленного ассортимента.

В настоящее время наблюдается снижение спроса потребителей на хлебобулочные изделия и рост цен на данный вид продукции. За последние 20 лет наблюдается снижение спроса на традиционные сорта (около 40–50%) в связи с изменением структуры питания отдельных категорий населения, что приводит к общему сокращению объемов производства хлеба. В настоящее время при покупке продуктов питания, в том числе хлебобулочных изделий, потребители отдают предпочтение продукции здорового питания [8].

Таким образом, приоритетная задача производителей – расширение ассортимента выпускаемой продукции с уклоном на производство нетрадиционных сортов хлеба. Расширяют ассортимент в основном за счет производства продуктов специального назначения (для детского, диабетического, профилактического и функционального питания), а также добавлением в состав хлеба различных обогащительных добавок.

Арабиногалактан – полисахарид, хорошо растворимый в воде, термоустойчив, не имеет специфического запаха и вкуса, устойчив в кислой среде, обладает высокой биологической активностью [8].

Сочетание арабиногалактана с конопляной мукой, благодаря высокому содержанию биологически активных веществ, имеет ряд полезных для организма человека свойств [8, 10–12].

Представленные функциональные пищевые ингредиенты имеют свои особенности влияния на технологический процесс производства хлеба.

Одновременное их использование компенсирует недостатки каждого компонента и в целом положительно влияет на технологический процесс производства хлебобулочных изделий. При введении в рецептуру конопляной муки следует учесть отсутствие в ней клейковины, однако арабиногалактан способствует поднятию теста, стимулируя рост дрожжей и увеличивая количество образуемого ими углекислого газа, а жир, содержащийся в конопляной муке, приводит к повышению газодерживающей

способности теста [8, 10–12]. К основным задачам научной работы относится разработка рецептуры функционального хлеба с конопляной мукой и арабиногалактаном, проведение органолептических и физико-химических испытаний готовых изделий, а также изучение антиоксидантных свойств и хранимоспособности хлеба [13].

**Цель работы** – изучение особенностей применения биологически активных добавок (конопляной муки и арабиногалактана) в производстве хлеба и оценка их качества. Для приготовления использовалась пшеничная обойная мука, обладающая более полезными для организма свойствами, чем пшеничная мука более высших сортов [9].

### Материалы и методы

Объектами исследования являются контрольный образец хлеба подового из пшеничной обойной муки, приготовленный по стандартной рецептуре, взятой из сборника технологических инструкций для производства хлеба и хлебобулочных изделий, а также три опытных образца хлеба с замещением пшеничной муки на арабиногалактан в количестве 2,5% и конопляную муку в 6; 8 и 10% соответственно (образцы 6 КМ, 8 КМ и 10 КМ соответственно) [14, 15].

Рациональный вариант внесения арабиногалактана в состав хлеба определялся с учетом его потребления дрожжами в процессе брожения путем его добавления в дрожжевую суспензию. Составлены производственные рецептуры четырех экспериментальных образцов с учетом водопоглощительной способности (ВПС) мучной смеси с арабиногалактаном.

При этом учитывалось положение, представленное в приложении № 19 к СанПиН 2.3.2.1078–01: «продукт считается обогащенным при условии, что его усредненная суточная порция содержит от 15 до 50% витаминов и/или минеральных веществ от нормы физиологической потребности человека».

Сущность метода определения ВПС заключается в добавлении воды к определенной массе мучной смеси до формирования теста с оптимальными реологическими свойствами.

Производство хлеба осуществлялось по стандартной технологической схеме производства подового хлеба из пшеничной обойной муки безопарным способом с внесением соответствующих корректировок. Замес теста производился до образования однородной упругопластичной капиллярно-пористой массы.

Динамика биохимических процессов в период созревания теста оценивалась по уровню pH и органолептическим показателям (согласно ГОСТ 31986–2012).

Окончание процесса брожения определяли с учетом динамики уровня pH по следующим признакам: тесто увеличивалось в объеме в 2,5 раза, приобретало приятный спиртовой запах и выпуклую поверхность.

Определение титруемой кислотности полуфабрикатов производилось по ускоренному методу, приведенному в ГОСТ 5670–96; Органолептические показатели определяли по ГОСТ Р 58233–2018 по разработанной 5-бальной шкале для оценки; Влажность изделий определяли по ГОСТ 21094–2022, пористость мякиша – по ГОСТ 5669–96.

Степень удовлетворения суточной потребности человека в нутриентах определяли в соответствии с МР 2.3.1.0253–21.

Опытные и контрольные образцы хлеба упаковывали и хранили в течение 3 часов и 3-х суток при температуре  $20 \pm 2$  °C и относительной влажности 80% [16, 17]. Для определения хранимоспособности определены: кислотность, пористость и влажность мякиша, уровень антиоксидантной активности и содержание полифенольных компонентов, кислотное и перекисное число. Общую антиоксидантную активность

определяли методом DPPH (%). Общее количество полифенольных соединений определяли с использованием реактива Фолина-Чокальтеу. Кислотное число определяли по ГОСТ 31700–2012. Перекисное число жира определяли по ГОСТ ISO 3960–2020 [18–20].

### Результаты и обсуждение

По результатам проведенных исследований выяснено, что рациональным вариантом внесения арабиногалактана в состав хлеба является замещение им 2,5% количества используемой пшеничной муки. При этом 1% полисахарида утилизируется дрожжами благодаря его пребиотическим свойствам. Результаты анализа водопоглотительной способности мучных смесей представлены в таблице 1.

Установлена положительная корреляция между количеством конопляной муки и арабиногалактана в рецептуре и ВПС мучной смеси.

Составленные производственные рецептуры опытных образцов хлеба с учетом корректировки количества используемой воды для приготовления теста представлены в таблице 2.

Таблица 1.

Значения водопоглотительной способности мучных смесей

Table 1.

Water absorption capacity values of flour mixtures

| Образец смеси<br>Sample mixture                                                                                              | Отношение количества смеси к количеству воды, г:мл<br>Ratio of mixture amount to water amount, g:ml | Value of the<br>VPS, % |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Пшеничная мука   Wheat flour                                                                                                 | 25:18                                                                                               | 72                     |
| Пшеничная мука, конопляная мука и арабиногалактан: 22,9:1,5:0,6<br>Wheat flour, hemp flour and arabinogalactan: 22.9:1.5:0.6 | 25:18,8                                                                                             | 75,2                   |
| Пшеничная мука, конопляная мука и арабиногалактан: 22,4:2:0,6<br>Wheat flour, hemp flour and arabinogalactan: 22.4:2:0.6     | 25:18,9                                                                                             | 75,6                   |
| Пшеничная мука, конопляная мука и арабиногалактан: 21,9:2,5:0,6<br>Wheat flour, hemp flour and arabinogalactan: 21.9:2.5:0.6 | 25:19,1                                                                                             | 76,4                   |

Таблица 2.

Скорректированные производственные рецептуры образцов

Table 2.

Adjusted production recipes of samples

| Компонент   Component                                 | Расход, г   Consumption, g  |                             |                               |                     |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
|                                                       | образец 6 КМ<br>sample 6 КМ | образец 8 КМ<br>sample 8 КМ | образец 10 КМ<br>sample 10 КМ | контроль<br>control |
| Мука пшеничная обойная   Whole wheat flour            | 183,00                      | 179,00                      | 175,00                        | 200,00              |
| Мука конопляная   Hemp flour                          | 12,00                       | 16,00                       | 20,00                         | -                   |
| Арабиногалактан   Arabinogalactan                     | 5,00                        | 5,00                        | 5,00                          | -                   |
| Соль/вода на раствор   Salt/water for solution        | 2,60/9,78                   | 2,60/9,78                   | 2,60/9,78                     | 2,60/9,78           |
| Дрожжи/вода на суспензию   Yeast/water for suspension | 1,00/3,00                   | 1,00/3,00                   | 1,00/3,00                     | 1,00/3,00           |
| Вода   Water                                          | 137,62                      | 138,42                      | 140,02                        | 131,34              |

Замес теста контрольного образца производился в течение 5,9 минут, образца 6 КМ – в течение 6,4 минут. При увеличении количества добавляемой конопляной муки до 8 и 10% время замеса уменьшилось до 6,1 и 5,7 минут соответственно. Установлено, что при добавлении

арабиногалактана тесто обладает повышенной эластичностью.

Зависимость значения активной кислотности теста от времени брожения для экспериментальных образцов представлена на рисунке 1.

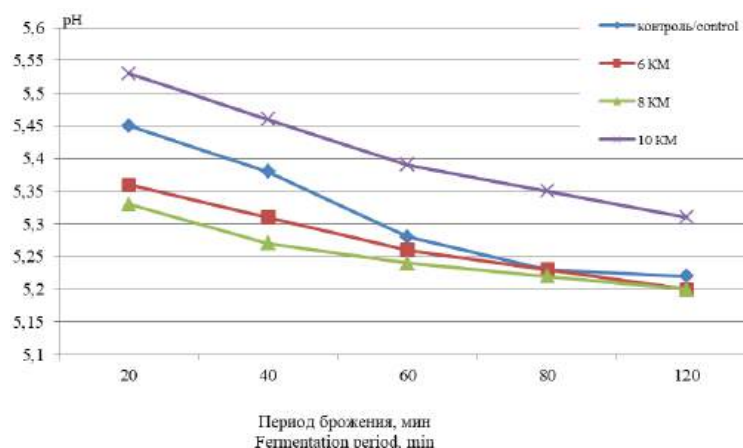


Рисунок 1. Динамика уровня pH в процессе брожения тестовых полуфабрикатов

Figure 1. Dynamics of pH level during fermentation of semi-finished dough products Fermentation period, min

В соответствии с полученными результатами принято решение сократить время брожения контрольного образца до 1,7 часа, образца 6 КМ до 1,5 часов, образца 8 КМ и 10 КМ до 1,3 часа. Исходя из полученных значений, время расстойки образца 6 КМ было уменьшено на 11,76% с 35 до 30,9 минут, образца 8 КМ и 10 КМ – на 23,53% до 26,8 минут.

Продолжительность выпечки для первого и контрольного образца составило 22 минут, для второго и третьего – 19 минут, температура среды пекарной камеры равнялась 180 °С.

Таким образом, использование в технологии хлеба композиции вносимых добавок позволяет сократить длительность данных процессов на 11–24%. Наиболее активно процессы брожения протекали в образцах при внесении 8 и 10% конопляной муки.

Результаты органолептической балльной оценки фиксировались на сенсорном профиле экспериментальных образцов, представленном на рисунке 2.

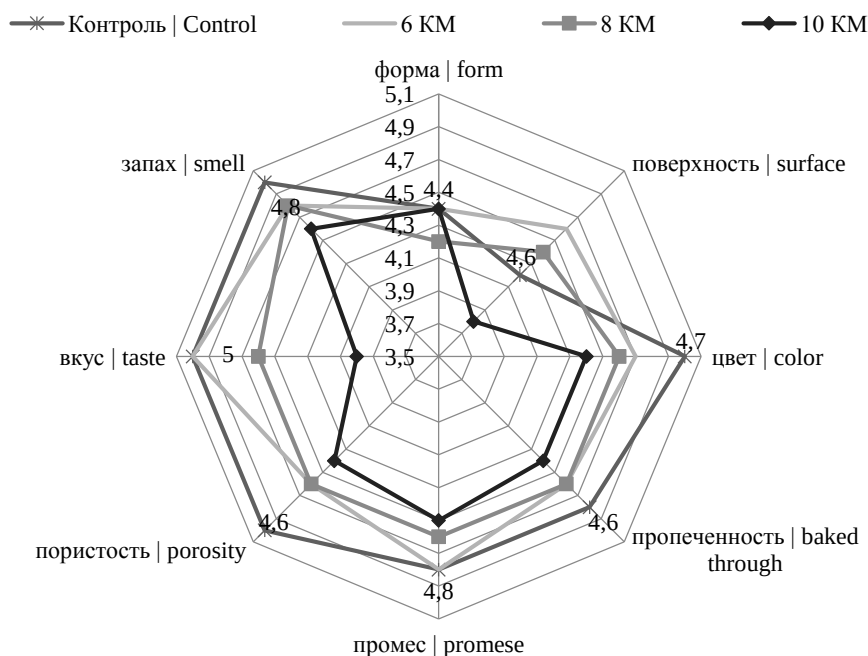


Рисунок 2. Сенсорный профиль экспериментальных образцов хлеба

Figure 2. Sensory profile of experimental bread samples

Установлено, что при внесении конопляной муки в опытный образец в количестве 6 и 8% поверхность, форма, вкус, запах, состояние мякиша хлеба не изменились в сравнении

с контрольным образцом. Результаты физико-химических испытаний экспериментальных образцов представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Физико-химические показатели качества экспериментальных образцов

Table 3.

Physicochemical quality indicators of experimental samples

| Экспериментальный образец хлеба<br>Experimental sample of bread | Влажность мякиша, %<br>Crumb moisture, % | Титруемая кислотность мякиша, град.<br>Titratable acidity of crumb, deg. | Пористость мякиша, %<br>Crumb porosity, % |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Контроль   Control                                              | 47,0 ± 0,45                              | 5,5 ± 0,25                                                               | 55,0 ± 0,4                                |
| 6 КМ   6 KM                                                     | 45,5 ± 0,50                              | 5,0 ± 0,20                                                               | 56,0 ± 0,5                                |
| 8 КМ   8 KM                                                     | 46,0 ± 0,45                              | 4,5 ± 0,23                                                               | 57,0 ± 0,6                                |
| 10 КМ   10 KM                                                   | 46,0 ± 0,40                              | 4,5 ± 0,22                                                               | 57,0 ± 0,6                                |

В образцах готовых свежеспецированных ХБИ наблюдали незначительные различия в значениях пористости, влажности и титруемой кислотности мякиша, все показатели находились в пределах норм, установленных требованиями ГОСТ 58233–2018.

Степень удовлетворения суточной потребности в основных нутриентах при употреблении рекомендованной нормы ХБИ (175 г согласно приказу Минздрава России от 19.08.2016 № 614) представлена в таблице 4.

Таблица 4.

Удовлетворение суточной потребности в основных нутриентах при употреблении рекомендуемой нормы хлеба (175 г), %

Table 4.

Satisfaction of daily requirement for essential nutrients when consuming the recommended amount of bread (175 g), %

| Пищевые вещества<br>Nutrients                 | Степень удовлетворения суточной потребности, %<br>Degree of satisfaction of daily requirement, % |                             |                             |                               |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
|                                               | контроль<br>control                                                                              | образец 6 КМ<br>sample 6 KM | образец 8 КМ<br>sample 8 KM | образец 10 КМ<br>sample 10 KM |
| Белки   Proteins                              | 11,00                                                                                            | 11,70                       | 12,10                       | 12,30                         |
| Жиры   Fats                                   | 1,70                                                                                             | 2,00                        | 2,10                        | 2,10                          |
| Углеводы усвояемые   Digestible carbohydrates | 13,40                                                                                            | 12,70                       | 12,50                       | 12,30                         |
| Пищевые волокна   Dietary fiber               | 9,0                                                                                              | 21,00                       | 22,00                       | 23,00                         |
| минеральные вещества   mineral substances     |                                                                                                  |                             |                             |                               |
| Фосфор   Phosphorus                           | 39,00                                                                                            | 46,00                       | 50,00                       | 53,00                         |
| Магний   Magnesium                            | 18,10                                                                                            | 26,80                       | 29,90                       | 32,70                         |
| Железо   Iron                                 | 21,10                                                                                            | 21,80                       | 22,30                       | 22,50                         |
| Марганец   Manganese                          | 24,20                                                                                            | 38,86                       | 47,40                       | 55,51                         |
| Цинк   Zinc                                   | 13,40                                                                                            | 17,60                       | 19,10                       | 20,40                         |
| витамины   vitamins                           |                                                                                                  |                             |                             |                               |
| Тиамин   Thiamine                             | 16,50                                                                                            | 25,50                       | 28,60                       | 31,60                         |
| Пиридоксин   Pyridoxine                       | 23,00                                                                                            | 22,00                       | 22,00                       | 22,00                         |
| Ниацин   Niacin                               | 33,00                                                                                            | 32,00                       | 32,00                       | 32,00                         |
| Токоферол   Tocopherol                        | 14,20                                                                                            | 15,20                       | 15,70                       | 16,10                         |
| Бета-каротин   Beta-carotene                  | 1,00                                                                                             | 14,00                       | 23,00                       | 26,00                         |
| Энергетическая ценность   Energy value        | 9,20                                                                                             | 8,90                        | 8,9                         | 8,8                           |

Степень удовлетворения суточной потребности при использовании в рационе 175 г. разработанных изделий выше, чем у контрольного образца: в пищевых волокнах в 2,3–2,5 раза, магнии – в 1,5–1,8 раз, марганце – в 1,6–2,3 раза,

цинке – в 1,3–1,5 раза, тиамине – в 1,5–1,9 раз, в бета-каротине – в 14,0–26,0 раз.

Динамика изменения физико-химических показателей хлебобулочных изделий после 3 суток хранения представлены на рисунке 3.

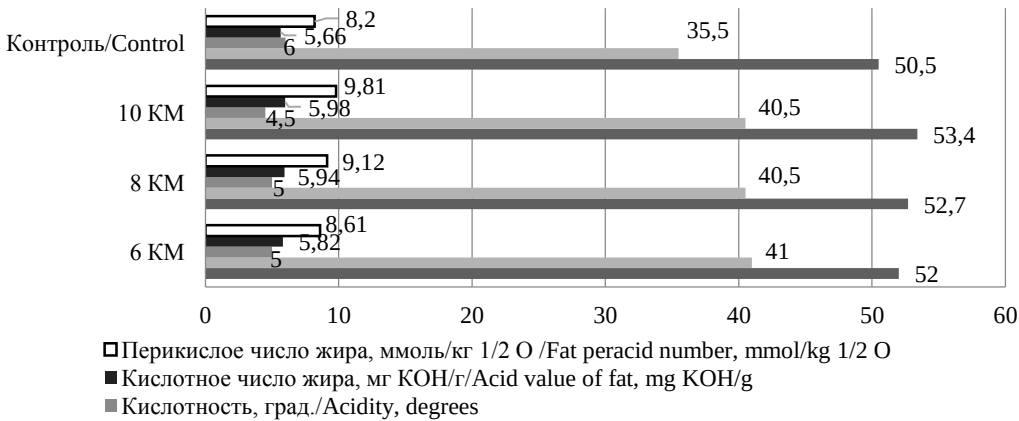


Рисунок 3. Динамика физико-химических показателей образцов хлеба в процессе хранения  
Figure 3. Dynamics of physical and chemical parameters of bread samples during storage

Проведенные физико-химические испытания показали, что внесение конопляной муки и арабиногалактана в хлеб позволяют замедлить процесс его черствения, срок хранения неупакованного хлеба из пшеничной муки согласно ГОСТ 58233–2018 составляет 24 ч. Установлен срок хранения хлеба с внесением конопляной

муки и арабиногалактана в течении 3 суток при температуре  $20 \pm 2$  °С.

Динамика антиоксидантной активности и содержания полифенольных соединений в обогащенном хлебе в процессе хранения представлены на рисунке 4.

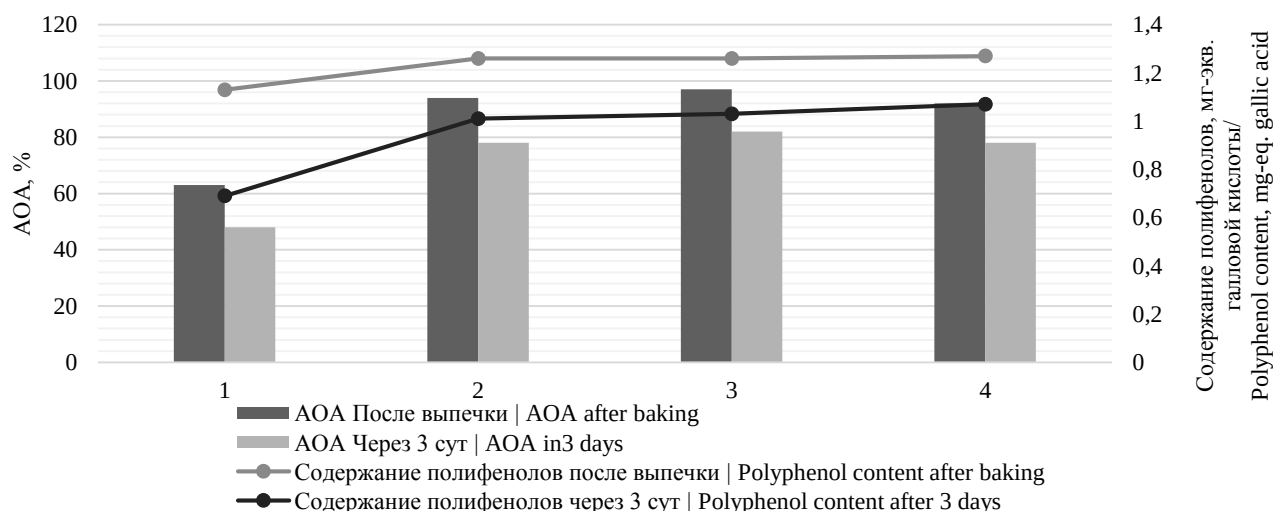


Рисунок 4. Динамика антиоксидантных свойств хлеба

Figure 4. Dynamics of antioxidant properties of bread

Результаты проведенного анализа свидетельствуют, что вводимые в состав хлеба добавки: конопляная мука и арабиногалактан способствуют увеличению показателей антиоксидантной активности.

### Заключение

Проведенное исследование доказывает перспективность использования биологически активных веществ (конопляной муки и арабиногалактана) в технологии производства хлеба. Интенсификация биохимических и коллоидных процессов позволяет сократить продолжительность замеса, брожения и расстойки теста в среднем на 17,7%.

При внесении в состав хлеба добавок в количестве 6–8% органолептические и физико-

химические показатели качества опытных образцов изделий практически не изменились.

После 3 суток хранения опытных образцов наблюдается снижение влажности в среднем на 11%; увеличение кислотности в среднем на 10% и снижение пористости в среднем на 7%, при этом показатели находились в пределах норм. Возрастает также кислотное и перекисное число жировой фракции пищевой системы образцов хлеба – в среднем на 15 и 25% соответственно. Антиоксидантная активность хлеба после 3 суток хранения максимально снизилась на 18%. В соответствии с полученными данными установлен срок хранения хлеба с внесением конопляной муки и арабиногалактана в течение 3 суток при температуре  $20 \pm 2$  °С.

### Литература

- 1 Ertosun, S., Falcão, S.I., Aylanc, V., Tomas A.V. et al. The impact of bee product incorporation on the processing properties, nutritional value, sensory acceptance, and microbial stability of bread. *Food Measure*. 2024. V.18. P. 451–463. doi:10.1007/s11694–023–02172–4
- 2 Рождественская Л.Н., Романенко С.П., Чугунова О.В. Перспективы нутриентного профилирования для профилактики заболеваний и укрепления здоровья // *Индустрия питания*. 2023. Т. 8. № 2. С. 63–72. doi: 10.29141/2500–1922–2023–8–2–7
- 3 Маюрникова Л.А., Кокшаров А.А., Крапива Т.В., Дриль А.А. Новые технологии сферы питания в целях повышения эффективности профилактики алиментарно-зависимых заболеваний // *Индустрия питания*. 2024. Т. 9. № 3. С. 5–15. doi: 10.29141/2500–1922–2024–9–3–1.
- 4 Hall-Faul M., D'Angelo K.A., Libal K. Promoting Food Justice and the Right to Adequate Food in Social Work Education. *J. Hum. Rights Soc. Work*. 2024. V. 9. P. 129–138. doi:10.1007/s41134–023–00286–9
- 5 Amoah, I., Cairncross, C., Osei, E.O., Yeboah J.A. et al. Bioactive Properties of Bread Formulated with Plant-based Functional Ingredients Before Consumption and Possible Links with Health Outcomes After Consumption. A Review. *Plant Foods Hum Nutr*. 2022. V. 77. P. 329–339. doi:10.1007/s11130–022–00993–0

- 6 Chiranthika, N.N.G., Chandrasekara, A., Gunathilake, K.D.P.P. Physicochemical, in vitro antidiabetic and sensory characteristics of leavened functional bread made with *Lasia spinosa* and *Nelumbo nucifera* rhizome flours composited with wheat flour. *Food Prod Process and Nutr.* 2024. №6. P. 33 doi:10.1186/s43014-023-00179-4
- 7 Galenko, O., Shevchenko, A., Ceccanti, C., Mignani C. et al. Transformative shifts in dough and bread structure with pumpkin seed protein concentrate enrichment. *Eur Food Res Technology.* 2024. V. 250. P.1177–1188. doi:10.1007/s00217-023-04454-z
- 8 Вейберов, А.В. Современное состояние и тренды развития рынка хлеба в Российской Федерации // *Инновации. Наука. Образование.* 2021. № 32. С. 1331–1338.
- 9 Iztayev, A., Kulazhanov, T., Iskakova, G. Alimardanova, M. et al. The innovative technology of dough preparation for bread by the accelerated ion–ozone cavitation method. *Sci Rep.* 2023. V. 13. P.17937. doi:10.1038/s41598-023-44820-1
- 10 Ertaş, N. Antioxidant and physicochemical properties of cookies containing raw and roasted hemp flour / N. Ertaş, M. Aslan // *ActaScientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria.* 2020. V. 19. № 2. P. 177-184. doi:10.17306/J.AFS.0795
- 11 Calzolari D., Rocchetti G., Lucini L., Amaducci S. The variety, terroir, and harvest types affect the yield and the phenolic and sterolic profiles of hemp seed oil. // *Food Research International.* 2021. V.142. P. 110212. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110212
- 12 Elfadil E., Babiker N. U., Juhaimi F.A., Isam A.M. Ahmed et al. Effect of roasting on antioxidative properties, polyphenol profile and fatty acids composition of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds. // *LWT.* 2021. V. 139. P.110537.
- 13 Zhang, G., Li, Z. Impact of melon seed oil cake with different particle sizes on bread quality. *Food Prod Process and Nutr.* 2024. V. 6, P. 44. doi:10.1186/s43014-024-00225-9
- 14 Wang, Y., Jian, C. Sustainable plant-based ingredients as wheat flour substitutes in bread making. *npj Sci Food.* 2022. V.6. P. 49. doi:10.1038/s41538-022-00163-1
- 15 Fakhfakh, N., Chahbani, A., Jridi, M. Exploring the potential of wild leek (*Allium ampeloprasum* L.) as a functional ingredient in wheat bread: phytochemical analysis and integration into sustainable food systems. *Euro-Mediterr J Environ Integr.* 2024. doi:10.1007/s41207-024-00592-2
- 16 П.В. Медведев, В.А. Федотов, С.Н. Малышев. Исследование физико-химических изменений при хранении хлеба // *Актуальные проблемы прикладной биотехнологии и инженерии: Международная науч.-практ. конф., Оренбург, 21 июня 2023 года. Оренбургский государственный университет, 2023. С. 63–66.*
- 17 Ловкис, З.В., Корзан С.И., Зайченко Д.А. Хранение хлеба в различных видах упаковки и температурных условий // *Пищевая промышленность: наука и технологии.* 2022. Т. 15. № 4(58). С. 52–61. doi:10.47612/2073-4794-2022-15-4(58) – 52–61
- 18 Nie, G., Zhang, C.X., Liu, M.J., Zhang Q.A. Development of bread with partial substitute of wheat flour by apricot kernel flours and effects of apricot kernel proteins on bread quality. *Food Measure.* 2024. V.18. P.8720–8732. doi:10.1007/s11694-024-02837-8
- 19 Leviansky, V.A., Leviansky, A.V., Kuznetsov, B.N. Isolation of Dihydroquercetin and Arabinogalactan from Larch Wood by Water-Ethanol Solutions. *Russ J Bioorg Chem.* 2023. V.49. P. 1723–1729. doi:10.1134/S1068162023070907
- 20 Гагарин Л.В., Лопатова Н.Л., Неверова О.П. Упаковка и технологические решения для улучшения сроков хранения хлеба // *Молодежь и наука.* 2022. № 10.

## References

- 1 Ertosun, S., Falcão, S.I., Aylanc, V. Tomas A.V. et al. The impact of bee product incorporation on the processing properties, nutritional value, sensory acceptance, and microbial stability of bread. *Food Measure.* 2024. Vol.18. pp. 451–463. doi:10.1007/s11694-023-02172-4
- 2 Rozhdestvenskaya L.N., Romanenko S.P., Chugunova O.V. Prospects for nutrient profiling for disease prevention and health promotion // *Food Industry.* 2023. Vol. 8. no. 2. pp. 63–72. doi: 10.29141/2500-1922-2023-8-2-7 (in Russian).
- 3 Mayurnikova L.A., Koksharov A.A., Krapiva T.V., Dril A.A. New technologies in the food sector to improve the prevention of alimentary-related diseases // *Food Industry.* 2024. Vol. 9. no. 3. pp. 5–15. doi:10.29141/2500-1922-2024-9-3-1 (in Russian).
- 4 Hall-Faul, M., D'Angelo, K.A. & Libal, K. Promoting Food Justice and the Right to Adequate Food in Social Work Education. *J. Hum. Rights Soc. Work.* 2024. Vol. 9. pp. 129–138. doi:10.1007/s41134-023-00286-9
- 5 Amoah, I., Cairncross, C., Osei, E.O., Yeboah J.A. et al. Bioactive Properties of Bread Formulated with Plant-based Functional Ingredients Before Consumption and Possible Links with Health Outcomes After Consumption. A Review. *Plant Foods Hum Nutr.* 2022. Vol. 77. pp. 329–339. doi:10.1007/s11130-022-00993-0
- 6 Chiranthika, N.N.G., Chandrasekara, A. & Gunathilake, K.D.P.P. Physicochemical, in vitro antidiabetic and sensory characteristics of leavened functional bread made with *Lasia spinosa* and *Nelumbo nucifera* rhizome flours composited with wheat flour. *Food Prod Process and Nutr.* 2024. no. 6. pp. 33. doi:10.1186/s43014-023-00179-4
- 7 Galenko, O., Shevchenko, A., Ceccanti, C. Mignani C. et al. Transformative shifts in dough and bread structure with pumpkin seed protein concentrate enrichment. *Eur Food Res Technol.* 2024. Vol. 250. pp. 1177–1188. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04454-z>
- 8 Veiberov, A.V. Current state and development trends of the bread market in the Russian Federation / A.V. Veiberov // *Innovations. Science. Education.* 2021. no. 32. pp. 1331–1338. (in Russian).
- 9 Iztayev, A., Kulazhanov, T., Iskakova, G. Alimardanova, M. et al. The innovative technology of dough preparation for bread by the accelerated ion–ozone cavitation method. *Sci Rep.* 2023. Vol. 13. pp.17937. doi:10.1038/s41598-023-44820-1
- 10 Ertaş, N. Antioxidant and physicochemical properties of cookies raw and roasted hemp flour / N. Ertaş, M. Aslan // *ActaScientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria.* 2020. Vol. 19. no. 2. pp. 177-184. doi:10.17306/J.AFS.0795
- 11 Calzolari D., Rocchetti G., Lucini L., Amaducci S. The variety, terroir, and harvest types affect the yield and the phenolic and sterolic profiles of hemp seed oil // *Food Research International.* 2021. Vol.142. pp. 110212. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110212

- 12 Elfadil E. Babiker, Nurhan Uslu, Fahad Al Juhaime, Isam A.M. Ahmed et al. Effect of roasting on antioxidative properties, polyphenol profile and fatty acids composition of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds // LWT. 2021. Vol. 139. pp. 110537.
- 13 Zhang, G., Li, Z. Impact of melon seed oil cake with different particle sizes on bread quality. Food Prod Process and Nutr. Vol. 6. pp. 44. doi:10.1186/s43014-024-00225-9
- 14 Wang, Y., Jian, C. Sustainable plant-based ingredients as wheat flour substitutes in bread making. npj Sci Food 2022. Vol.6. pp. 49. doi:10.1038/s41538-022-00163-1
- 15 Fakhfakh, N., Chahbani, A., Jridi, M. Exploring the potential of wild leek (*Allium ampeloprasum* L.) as a functional ingredient in wheat bread: phytochemical analysis and integration into sustainable food systems. Euro-Mediterr J Environ Integr. 2024. doi:10.1007/s41207-024-00592-2
- 16 Study of physicochemical changes during bread storage / Medvedev P.V, Fedotov V.A., Malyshev S.N. // Actual problems of applied biotechnology and engineering: Collection of materials of the International scientific and practical conference, Orenburg, June 21, 2023. Orenburg State University. 2023. pp. 63–66.(in Russian).
- 17 Lovkis Z.V., Korzan S.I., Zaychenko D.A. Storage of bread in various types of packaging and temperature conditions // Food industry: science and technology. 2022. Vol. 15. no. 4(58). pp. 52–61. doi:10.47612/2073-4794-2022-15-4(58)-52-61. (in Russian).
- 18 Nie, G., Zhang, C.X., Liu, M.J. et al. Development of bread with partial substitute of wheat flour by apricot kernel flours and effects of apricot kernel proteins on bread quality. Food Measure.2024. Vol.18. pp. 8720–8732. doi:10.1007/s11694-024-02837-8
- 19 Levдansky V.A., Levдansky A.V., Kuznetsov B.N. Isolation of Dihydroquercetin and Arabinogalactan from Larch Wood by Water-Ethanol Solutions. Russ J Bioorg Chem. 2023. Vol. 49. pp. 1723–1729. doi:10.1134/S1068162023070907
- 20 Gagarin, L.V., Lopayeva N.L., Neverova O.P. Packaging and technological solutions for improving the shelf life of bread // Youth and Science. 2022. no. 10. (in Russian).

#### Сведения об авторах

**Дмитрий И. Девяткин** аспирант, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, devyatkd@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5457-1613>

**Наталья А. Лесникова** к.т.н., доцент, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, lista507@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6765-7064>

**Денис С. Мысаков** к.т.н., доцент, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, mysakov\_ds@usue.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0514-9413>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Dmitry I. Devyatkin** postgraduate student, Department of Food Technology, Ural State University of Economics, 8 Marta/Narodnoy Voli St., 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, devyatkd@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5457-1613>

**Natalia A. Lesnikova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Department of Food Technology, Ural State University of Economics, 8 Marta/Narodnoy Voli St., 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, lista507@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6765-7064>

**Denis S. Mysakov** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Department of Food Technology, Ural State University of Economics, 8 Marta/Narodnoy Voli St., 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, mysakov\_ds@usue.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0514-9413>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 22/10/2024 | После редакции 16/11/2024      | Принята в печать 25/11/2024 |
| Received 22/10/2024  | Accepted in revised 16/11/2024 | Accepted 25/11/2024         |

## Влияние культур *Bacillus Subtilis* на развитие болезней листового аппарата сахарной свеклы

|                                |                                                                |                                                                                                         |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Надежда В. Безлер <sup>1</sup> | <a href="mailto:bezler@list.ru">bezler@list.ru</a>             |  0000-0001-9371-9564 |
| Ольга А. Федорова <sup>1</sup> | <a href="mailto:fed-olga78@mail.ru">fed-olga78@mail.ru</a>     |  0000-0001-7581-6141 |
| Юлия Н. Санеева <sup>1</sup>   | <a href="mailto:usaneeva69@gmail.com">usaneeva69@gmail.com</a> |                                                                                                         |
| Валерий Д. Цомаея <sup>1</sup> | <a href="mailto:valera-comaya@ya.ru">valera-comaya@ya.ru</a>   |                                                                                                         |

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты полевых исследований, направленных на изучение влияния суспензий аборигенных штаммов *Bacillus subtilis* на распространение и интенсивность развития основных заболеваний листового аппарата сахарной свеклы. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки экологически безопасных методов защиты растений, снижения использования химических фунгицидов и повышения устойчивости культур к фитопатогенам. Авторы провели полевые испытания с применением штаммов *Bacillus subtilis* 20 и 17(8), которые продемонстрировали высокую эффективность в борьбе с основными заболеваниями сахарной свеклы: альтернариозом, церкоспорозом, фомозом, вирусной желтухой и мучнистой росой. Обработка растений суспензией *Bacillus subtilis* позволила снизить интенсивность развития и распространенность этих заболеваний по сравнению с контрольными образцами и стандартным биопрепаратом «Алирин-Б». Кроме того, результаты исследований подтвердили положительное влияние обработки *Bacillus subtilis* на продуктивность сахарной свеклы. Урожайность корнеплодов в обработанных вариантах увеличилась на 5,2–10,7 т/га по сравнению с контролем, что связано с улучшением фитосанитарного состояния посевов. Несмотря на то что содержание сахара в корнеплодах изменилось незначительно, общий сбор сахара с гектара увеличился на 1,26–1,82 т/га благодаря росту урожайности. Таким образом, проведенные исследования подтверждают эффективность штаммов *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) в биологической защите сахарной свеклы. Их применение способствует снижению поражаемости растений, повышению урожайности и улучшению экологической безопасности агротехнологий. Использование антагонистических микроорганизмов может стать важным элементом интегрированных систем защиты растений, позволяя сократить применение химических фунгицидов и повысить устойчивость сельскохозяйственных культур к фитопатогенам.

**Ключевые слова:** сахарная свёкла, эффективные штаммы *Bacillus subtilis*, заболевания листового аппарата, урожайность сахарной свеклы, биологическая защита.

## Influence of *Bacillus Subtilis* cultures on the development of diseases of the leaf apparatus of sugar beet

|                                 |                                                                |                                                                                                           |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nadezhda V. Bezler <sup>1</sup> | <a href="mailto:bezler@list.ru">bezler@list.ru</a>             |  0000-0001-9371-9564 |
| Olga A. Fedorova <sup>1</sup>   | <a href="mailto:fed-olga78@mail.ru">fed-olga78@mail.ru</a>     |  0000-0001-7581-6141 |
| Julia N. Saneeva <sup>1</sup>   | <a href="mailto:usaneeva69@gmail.com">usaneeva69@gmail.com</a> |                                                                                                           |
| Valeriy D. Tsomaia <sup>1</sup> | <a href="mailto:valera-comaya@ya.ru">valera-comaya@ya.ru</a>   |                                                                                                           |

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A. L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia

**Abstract.** The article presents the results of field studies aimed at studying the effect of suspensions of native *Bacillus subtilis* strains on the spread and intensity of development of the main diseases of the sugar beet leaf apparatus. The relevance of the study is due to the need to develop environmentally friendly plant protection methods, reduce the use of chemical fungicides and increase crop resistance to phytopathogens. The authors conducted field trials using *Bacillus subtilis* strains 20 and 17(8), which demonstrated high effectiveness in combating the main diseases of sugar beet: alternariasis, cercosporosis, fomois, viral jaundice and powdery mildew. Treatment of plants with a suspension of *Bacillus subtilis* allowed to reduce the intensity of development and prevalence of these diseases compared with control samples and the standard biological preparation Alirin-B. In addition, the research results confirmed the positive effect of *Bacillus subtilis* treatment on sugar beet productivity. The yield of root crops in the treated variants increased by 5.2–10.7 t/ha compared to the control, which is associated with an improvement in the phytosanitary condition of crops. Despite the fact that the sugar content in root crops has changed slightly, the total sugar harvest per hectare increased by 1.26–1.82 t/ha due to increased yields. Thus, the conducted studies confirm the effectiveness of *Bacillus subtilis* strains 20 and 17(8) in the biological protection of sugar beet. Their use helps to reduce plant damage, increase yields and improve the environmental safety of agricultural technologies. The use of antagonistic microorganisms can become an important element of integrated plant protection systems, reducing the use of chemical fungicides and increasing the resistance of crops to phytopathogens.

**Keywords:** sugar beet, effective strains of *Bacillus subtilis*, diseases of the leaf apparatus, sugar beet yield, biological protection.

Для цитирования

Безлер Н.В., Федорова О.А., Санеева Ю.Н., Цомаея В.Д. Влияние культур *Bacillus Subtilis* на развитие болезней листового аппарата сахарной свеклы // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 116–121. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-116-121

For citation

Bezler N.V., Fedorova O.A., Saneeva Yu. Influence of *Bacillus Subtilis* cultures on the development of diseases of the leaf apparatus of sugar beet. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4 pp. 116–121. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-116-121

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

В последние десятилетия проблема использования в сельском хозяйстве химических средств защиты растений обостряется за счет их негативного действия на окружающую среду и получаемую продукцию. Интенсивное применение фунгицидов, гербицидов, инсектицидов против болезней, сорняков и вредителей в сельхозпроизводстве приводит к снижению плодородия почвы и качества продукции, сокращению агрономически ценных микроорганизмов. Под влиянием химических средств загрязняется окружающая среда, что сопровождается нарушением круговорота азота, снижением супрессивности почвы, а выработка резистентности у фитопатогенов к пестицидам приводит к нежелательному увеличению норм расхода химикатов [1, 2]. Таким образом, повышается актуальность биологической защиты растений. Для восстановления гомеостаза микробного сообщества почвы, получения высокой и экологически безопасной продукции необходимо использовать биологические способы борьбы с заболеваниями сахарной свеклы. Для этого разрабатываются микробиологические биопрепараты на основе штаммов микробов-антагонистов фитопатогенов. Один из них – *Bacillus subtilis*, аборигенный штамм, который, адаптируясь к природным условиям места обитания, проявляет антагонистические свойства по отношению возбудителям заболеваний сахарной свеклы. К тому же, у многих видов рода *Bacillus* установлено продуцирование в почву физиологически активных веществ. Поэтому цель исследований – создать систему защиты сахарной свеклы от болезней листового аппарата на основе наиболее перспективных аборигенных штаммов *Bacillus subtilis* – антагонистов почвенных патогенов [3, 4].

## Материалы и методы

Исследования проводили в полевых условиях на новом опытном поле ВНИИСС в посевах сахарной свеклы в зернопаропропашном севообороте с чередованием культур: пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень. Технология возделывания культуры – общепринятая для ЦЧР. Для посева использовали семена диплоидного гибрида РМС 127. В качестве объекта исследования были взяты штаммы бактерий-антагонистов *Bacillus subtilis* 20 и 17(8), выделенные из ризосферы сахарной свеклы и почвы. Культуры хранятся в коллекции эффективных микроорганизмов в лаборатории агроэкологических методов исследований свекловичных агроценозов ВНИИСС.

Микроорганизмы поддерживаются методом периодических пересевов на твердой питательной среде МПС. В полевом опыте посевы сахарной свеклы опрыскивали суспензией штаммов *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) (использовалась водопроводная вода) с титром жизнеспособных бактериальных клеток  $10^{10}$  КОЕ/мл. Расход рабочей жидкости – 200 л/га. В качестве контроля был взят вариант без обработки бактериальной суспензией, а в качестве стандарта – вариант с обработкой препаратом Алирин-Б. Учет основных болезней листового аппарата проводили в соответствии с «Основными методами фитопатологических исследований» под ред. Чумакова Е.А. (1974), а также «Рекомендациями по учету и выявлению вредителей и болезней...» (1984) [3, 5, 6].

Урожайность корнеплодов учитывали количественно-весовым методом путем подсчета и взвешивания корнеплодов с учетных делянок [7], сахаристость корнеплодов – определяли на автоматической поточной линии VENEMA, сбор сахара – расчетным методом [7].

Схема полевого опыта включала следующие варианты:

- 1) Контроль;
- 2) Эталон – обработка биопрепаратом «Алирин-Б» превентивно,  $0,26 \times 10^9$  *Bacillus subtilis* визр-10/м<sup>2</sup>
- 3) Обработка штаммом *Bacillus subtilis* 17(8) превентивно,  $2 \times 10^{10}$  кл/м<sup>2</sup>;
- 4) Обработка штаммом *Bacillus subtilis* 20 превентивно,  $2 \times 10^{10}$  кл/м<sup>2</sup>;

Повторность опыта – 4-х кратная. Площадь делянки 54 м<sup>2</sup>. Расположение делянок систематическое [6, 11].

## Результаты и обсуждение

Нерациональное использование химических средств защиты привели к деградации почвенного покрова, в частности, увеличению фитотоксичности, что изменяет соотношение групп микроорганизмов в сторону увеличения патогенной микрофлоры. Болезни растений снижают урожай на 16% [8, 12-15]. Обработка растений по вегетации *Bacillus subtilis* снижает интенсивность развития или распространенность заболеваний сахарной свеклы, за счет антагонистических свойств штамма по отношению к возбудителям заболеваний свекловичной культуры. В результате работы на полевом опыте были определены основные заболевания сахарной свеклы (таблица 1).

## Болезни листового аппарата сахарной свеклы

Table 1.

## Diseases of the leaf apparatus of sugar beet

| Вариант<br>Variant             | Альтернариоз<br>Alternaria |       | Церкоспороз<br>Cercospora |      | Желтуха<br>Jaundice |       | Фомоз<br>Phoma | Мучнистая роса<br>Powdery mildew |      |
|--------------------------------|----------------------------|-------|---------------------------|------|---------------------|-------|----------------|----------------------------------|------|
|                                | R(%)                       | P(%)  | R(%)                      | P(%) | R(%)                | P(%)  | P%             | R(%)                             | P(%) |
| Контроль Control               | 0,53                       | 10,33 | 0,33                      | 6,30 | 5,47                | 20,77 | 14,3           | 0,60                             | 5,00 |
| Алирин-б Alirin-b              | 0,53                       | 10,00 | 0,13                      | 3,10 | 3,57                | 13,23 | 8,95           | 0,53                             | 4,00 |
| <i>Bacillus subtilis</i> 20    | 0,40                       | 8,33  | 0,27                      | 5,27 | 4,47                | 16,03 | 12,01          | 0,57                             | 4,00 |
| <i>Bacillus subtilis</i> 17(8) | 0,37                       | 8,33  | 0,30                      | 4,43 | 2,67                | 10,17 | 12,33          | 0,37                             | 2,67 |

R – интенсивность развития болезни, P – распространенность болезни

R is the intensity of the disease, P is the prevalence of the disease

Возбудитель церкоспороза – гриб *Cercospora beticola* Sacc. Болезнь приводит к увеличению содержания восстанавливающих сахаров, использование сахара в общем метаболизме сокращается. При церкоспорозе усиливается транспирация, что приводит к снижению веса корнеплода [8].

В условиях вегетационного периода 2023 года церкоспороз не получил значительного распространения. Так в контрольном варианте интенсивность развития болезни составила 0,33%, а распространенность – 6,3%. Использование препарата «Алирин-Б» способствовало сдерживанию интенсивности развития до 0,13%, а распространенности – до 3,10%. По результатам исследования препарат действительно способствует сдерживанию распространения и развития церкоспороза.

При обработке посевов *Bacillus subtilis* 20 и *Bacillus subtilis* 17(8) интенсивность развития церкоспороза составляла 0,27 и 0,30%, а распространенность – 5,27 и 4,43% соответственно. Обработка штаммами *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) несколько улучшает состояние растений и защищает от болезни.

Фомоз (зональная пятнистость). Возбудителем болезни является гриб *Phoma betae* Frank. Вредоносность болезни велика, так как она приводит к снижению сахаристости, уменьшению урожая семян и их всхожести [8-10].

Обработка биологическим препаратом «Алирин-Б» имеет достаточно высокий уровень защиты растения от болезни: распространенность фомоза составила 8,95% (в контроле – 14,2). Однако, стоит отметить, что обработка суспензией *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) так же имеет положительный результат и можно сделать вывод, что обработка превентивно в дозе  $2 \times 10^{10}$  кл/м<sup>2</sup> имеет тенденцию к защите растений сахарной свеклы от болезни.

Альтернариоз. Болезнь начинается с повреждения краев листьев, распространяясь к середине листа, и имеет вид бурых пятен. Возбудителем заболевания является *Alternaria alternata*. Поражение альтернариозом отмечается во время вегетации, интенсивность развития нарастает

к концу вегетации при продолжительной дождливой погоде [8].

Наиболее сильная распространенность заболевания отмечена в контроле и при обработке «Алирин-Б» до 10,33%, а интенсивность развития – до 0,53%.

Использование при обработке посевов *Bacillus subtilis* 20 и *Bacillus subtilis* 17(8) снижает распространенность до 8,33%, а интенсивность развития до 0,40 и 0,37% соответственно.

Мучнистая роса (эризифоз). Признаки болезни проявляются в виде мучнистого налета, который покрывает обе стороны листовой поверхности. Возбудителем болезни является гриб *Erysiphe communis* Grev f. sp. *Betae* Jacz. Болезнь приводит к раннему отмиранию листьев, уменьшению урожая корнеплодов в среднем на 11%, сахаристости – на 0,5–1,5%, показатель лежкости корнеплодов при хранении снижается [8].

Обработка посевов «Алирин-Б» и *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) способствовала снижению распространения мучнистой росы до 4,00–2,67%, а интенсивность развития болезни до 0,53–0,37%, что подтверждает возможность штамма защищать растения от патогенов.

Вирусная желтуха. Желтуха сахарной свеклы вызывается двумя видами вирусов: *Beet yellow* и *Beet mild yellowing virus*, с преобладанием первого вида, проявляется в середине вегетации и представлена на более старых листьях в виде пожелтения, которое начинается с края листа и увеличивается к середине. Постепенно все листья желтеют. Заболевание способствует снижению урожая корнеплодов и их сахаристости, а также увеличению содержания мелассы, азотных веществ и зольных соединений [8].

По результатам исследований желтуха наиболее интенсивно развитое и распространенное заболевание на опыте, что связано с быстрым развитием болезни от очага заражения. Так, контрольный вариант имеет интенсивность развития 5,47%, распространенность 20,77%.

Обработка препаратом «Алирин-Б» снижает интенсивность развития желтухи до 3,53%,

а распространенность – до 13,21%, что доказывает эффективность препарата. Обработка суспензией *Bacillus subtilis* 20 снижает интенсивность и распространенность заболевания до 4,47 и 16,03 соответственно. При обработке суспензией *Bacillus subtilis* 17(8) интенсивность развития и распространенность имеет самые маленькие показатели: 2,67% и 10,17% соответственно, что позволяет говорить о том, что обработка защищает листовой аппарат сахарной свеклы [16-20].

Благодаря изменениям в ризосфере и фотосинтетическом аппарате культуры сахарной свеклы при внесении штаммов антагонистов-патогенов создана предпосылка для повышения ее продуктивности. Интегральным показателем продуктивности сахарной свеклы служит сбор сахара с гектара, который в большей степени связан с ее урожайностью (таблица 2).

Таблица 2.

## Продуктивность сахарной свеклы

Table 2.

## Productivity of the sugar beet

| Вариант<br>Variant       | Урожайность<br>Productivity |      | Сахаристость<br>Sugar content |       | Сбор сахара<br>Sugar harvest |      |
|--------------------------|-----------------------------|------|-------------------------------|-------|------------------------------|------|
|                          | т/га                        | ±d   | %                             | ±d    | т/га                         | ±d   |
| Контроль Control         | 17,2                        |      | 18,42                         |       | 3,17                         |      |
| Алирин-Б Alirin-b        | 22,4                        | 5,2  | 18,01                         | -0,41 | 4,03                         | 0,86 |
| <i>B.subtilis</i> 20     | 27,9                        | 10,7 | 17,92                         | -0,50 | 4,99                         | 1,82 |
| <i>B.subtilis</i> 17 (8) | 24,1                        | 6,9  | 18,39                         | -0,03 | 4,43                         | 1,26 |
| НСП <sub>05</sub>        |                             | 3,6  |                               | -     |                              |      |

Урожайность сахарной свеклы в контроле составила 17,2 т/га. Следует отметить, что по объективным причинам сахарную свеклу посеяли 29 мая. Удобрения не вносили. Обработка листового аппарата штаммами *Bacillus subtilis* 20, *Bacillus subtilis* 17/8, способствовала росту урожайности корнеплодов до 27,9 и 24,1 т/га (прибавка урожая – 10,7 и 6,9 т/га). Достоверного влияния на сахаристость корнеплодов выявлено не было: его содержание составило 17,92 и 18,29%. Несмотря на это, был отмечен рост сбора сахара с гектара на 1,82 и 1,26 т/га за счет увеличения урожайности корнеплодов.

## Заключение

Согласно результатам исследований препарат «Алирин-Б» имеет высокую степень защиты

от наиболее распространенных заболеваний сахарной свеклы, однако результаты доказывают, что суспензии *Bacillus subtilis* 20 и 17(8) действуют аналогично препарату «Алирин-Б», и даже в некоторых случаях проявляют себя более эффективно. Обработка листового аппарата сахарной свеклы микроорганизмами-антагонистами *Bacillus subtilis* 20 и *Bacillus subtilis* 17/8 способствовала росту урожайности корнеплодов. Это связано с тем, что интродуценты успешно заселяли филлоплану развивающихся растений и почву, оптимизировали структуру микробного сообщества, способствовали снижению заболевания листового аппарата сахарной свеклы.

## Литература

- 1 Козлова Е.А. Биологизация систем защиты сельскохозяйственных культур от болезней // Вестник аграрной науки. 2022. №1 (94). С. 17–22.
- 2 Chojnacka K. Innovative bio-products for agriculture // Open Chemistry. 2015. V. 13. №. 1. P. 932-937.
- 3 Павлюшин И.А., Новикова И.И., Бойкова И.В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика. // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 59. № 3. С. 421–438.
- 4 Сумская М.А. Применение бактериальной суспензии *Bacillus subtilis* на семенных растениях сахарной свеклы // Сахарная свекла. 2018. № 3. С. 33–37.
- 5 Алехин В.Т. Рекомендации по учету и выявлению вредителей и болезней сельскохозяйственных растений // Воронеж: ВНИИЗР, 1984. 274 с.
- 6 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) // М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- 7 Методика исследований сахарной свеклы // ВНИС, Киев. 1988. 292 с.
- 8 Esh A., Taghian S. Etiology, epidemiology, and management of sugar beet diseases // Sugar beet cultivation, management and processing. Singapore: Springer Nature Singapore. 2022. P. 505-540.
- 9 Kusstatscher, P., Zachow, C., Harms, K., Maier, J. et al. Microbiome-driven identification of microbial indicators for postharvest diseases of sugar beets. Microbiome. 2019. V. 7. P. 1-12.

- 10 Ильяшенко Н.Г., Шабурова Л.Н., Мойсеяк М.Б., Дубова М.В. Микробиологические аспекты в свеклосахарном производстве. *Сахар*. 2022. №8. С. 37-42. doi: 10.24412/2413-5518-2022-8-37-42
- 11 Sinclair J. B., Dhingra O. D. Basic plant pathology methods. CRC press. 2017. 448 p.
- 12 Avdeenko A., Avdeenko S., Domatskiy V., Platonov A. (2020). *Bacillus subtilis* based products as an alternative to agrochemicals. *Research on Crops*. 2020. V. 21. № 1. P. 156-159. doi: 10.31830/2348-7542.2020.026
- 13 Hoffmann C. M., Koch H. J., Märlander B. Sugar beet. *Crop physiology case histories for major crops*. Academic Press. 2021. P. 634-672.
- 14 Lazarte J. N., Valacco M. P., Moreno S., Salerno G. L. et al. Molecular characterization of a *Bacillus thuringiensis* strain from Argentina, toxic against Lepidoptera and Coleoptera, based on its whole-genome and Cry protein analysis. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2021. V. 183. P. 107563.
- 15 Chagas F. O., de Cassia Pessotti R., Caraballo-Rodríguez A. M., Pupo M. T. Chemical signaling involved in plant–microbe interactions. *Chemical Society Reviews*. 2018. V. 47. № 5. P. 1652-1704.
- 16 Kusstatscher P., Cernava T., Harms K., Maier J. et al. Disease incidence in sugar beet fields is correlated with microbial diversity and distinct biological markers. *Phytobiomes Journal*. 2019. V. 3. № 1. P. 22-30.
- 17 Stevanato P., Chiodi C., Broccanello C., Concheri G. et al. Sustainability of the sugar beet crop. *Sugar Tech*. 2019. V. 21. P. 703-716.
- 18 Śwędryńska D., Grześ S. Microbiological parameters of soil under sugar beet as a response to the long-term application of different tillage systems // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2015. V. 24. №. 1. P. 285-294.
- 19 Ab Rahman S. F. S., Singh E., Pieterse C. M., Schenk, P. M. Emerging microbial biocontrol strategies for plant pathogens. *Plant Science*. 2018. V. 267. P. 102-111.
- 20 Berg G., Kusstatscher P., Stocker F., Abdelfattah A. et al. Microbial bioprotectants for plant disease management. Burleigh Dodds Science Publishing. 2021. 400 p.

## References

- 1 Kozlova E.A. Biologization of systems for protecting crops from diseases // *Bulletin of Agrarian Science*. 2022. №1 (94). С. 17–22.
- 2 Chojnacka K. Innovative bio-products for agriculture // *Open Chemistry*. 2015. V. 13. №. 1. P. 932-937.
- 3 Pavlyushin I.A., Novikova I.I., Boykova I.V. Microbiological plant protection in technologies of phytosanitary optimization of agroecosystems: theory and practice. // *Agricultural biology*. 2020. Vol. 59. no. 3. pp. 421–438. (in Russian).
- 4 Sumskeya M.A. Application of a bacterial suspension of *Bacillus subtilis* on sugar beet seed plants // *Sugar beet*. 2018. pp. 3. pp. 33–37. (in Russian).
- 5 Alekhin V.T. Recommendations for recording and identifying pests and diseases of agricultural plants // *Voronezh: VNIIZR*, 1984. 274 p. (in Russian).
- 6 Dospehov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results) // *M.: Agropromizdat*, 1985. 351 p. (in Russian).
- 7 Research methods for sugar beets // *VNIS*, Kyiv. 1988. 292 p. (in Russian).
- 8 Esh A., Taghian S. Etiology, epidemiology, and management of sugar beet diseases // *Sugar beet cultivation, management and processing*. Singapore : Springer Nature Singapore, 2022. pp. 505-540.
- 9 Kusstatscher, P., Zachow, C., Harms, K., Maier, J. et al. Microbiome-driven identification of microbial indicators for postharvest diseases of sugar beets. *Microbiome*, 2019. Vol. 7. pp. 1-12.
- 10 Ilyashenko N.G., Shaburova L.N., Moiseyak M.B., Dubova M.V. et al. Microbiological aspects in light production. *Sugar*. 2022. no. 8. pp. 37-42. doi: 10.24412/2413-5518-2022-8-37-42 (in Russian).
- 11 Sinclair J. B., Dhingra O. D. Basic plant pathology methods. CRC press. 2017. 448 p.
- 12 Avdeenko, A., Avdeenko, S., Domatskiy, V., Platonov, A. *Bacillus subtilis* based products as an alternative to agrochemicals. *Research on Crops*. 2020. Vol. 21. no 1. pp. 156-159. doi: 10.31830/2348-7542.2020.026
- 13 Hoffmann C. M., Koch H. J., Märlander B. Sugar beet // *Crop physiology case histories for major crops*. Academic Press, 2021. pp. 634-672.
- 14 Lazarte, J. N., Valacco, M. P., Moreno, S., Salerno, G. L., & Berón, C. M. Molecular characterization of a *Bacillus thuringiensis* strain from Argentina, toxic against Lepidoptera and Coleoptera, based on its whole-genome and Cry protein analysis. *Journal of Invertebrate Pathology*. 2021. Vol. 183. pp. 107563.
- 15 Chagas F. O., de Cassia Pessotti R., Caraballo-Rodríguez A. M., Pupo, M. T. Chemical signaling involved in plant–microbe interactions. *Chemical Society Reviews*, 2018. Vol. 47. no 5. pp. 1652-1704.
- 16 Kusstatscher P., Cernava T., Harms K., Maier J. et al. Disease incidence in sugar beet fields is correlated with microbial diversity and distinct biological markers. *Phytobiomes Journal*. 2019. Vol. 3. no 1. pp. 22-30.
- 17 Stevanato P., Chiodi C., Broccanello C., Concheri G. et al. Sustainability of the sugar beet crop. *Sugar Tech*. 2019. Vol. 21. pp. 703-716.
- 18 Śwędryńska D., Grześ S. Microbiological parameters of soil under sugar beet as a response to the long-term application of different tillage systems. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2015. Vol. 24. no. 1. pp. 285-294.
- 19 Ab Rahman, S. F. S., Singh, E., Pieterse, C. M., Schenk, P. M. Emerging microbial biocontrol strategies for plant pathogens. *Plant Science*. 2018. Vol. 267. pp. 102-111.
- 20 Berg, G., Kusstatscher, P., Stocker, F., Abdelfattah. et al. Microbial bioprotectants for plant disease management. Burleigh Dodds Science Publishing. 2021. 400 p.

#### Сведения об авторах

**Надежда В. Безлер** д.х.н., ведущий научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, bezler@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9371-9564>

**Ольга А. Федорова** к.б.н., старший научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, fed-olga78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7581-6141>

**Юлия Н. Санеева** магистр, младший научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, usaneeva69@gmail.com

**Валерий Д. Цомая** магистр, младший научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, valera-comaya@ya.ru

#### Information about authors

**Nadezhda V. Bezler** Dr. Sci. (Agric.), leading researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, bezler@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9371-9564>

**Olga A. Fedorova** Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, fed-olga78@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7581-6141>

**Julia N. Saneeva** Cand. Sci. (Econ.), engineer, junior researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, usaneeva69@gmail.com

**Valeriy D. Tsomaia** master, junior researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, valera-comaya@ya.ru

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 25/10/2024 | После редакции 18/11/2024      | Принята в печать 29/11/2024 |
| Received 25/10/2024  | Accepted in revised 18/11/2024 | Accepted 29/11/2024         |

## Технология приготовления пшеничного хлеба из цельнозерновой муки

|                     |              |                                                                                |                                                                                                         |
|---------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Наталья А. Шмалько  | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kafedra-tith@ya.ru">kafedra-tith@ya.ru</a>                     |  0000-0002-8939-0265 |
| Тамара В. Ваницкая  | <sup>1</sup> | <a href="mailto:vanitskaya.toma@ya.ru">vanitskaya.toma@ya.ru</a>               |                                                                                                         |
| Лидия А. Кудрявцева | <sup>1</sup> | <a href="mailto:lida.kudryavtseva.02@mail.ru">lida.kudryavtseva.02@mail.ru</a> |                                                                                                         |
| Игорь А. Никитин    | <sup>2</sup> | <a href="mailto:nikito.igor@gmail.com">nikito.igor@gmail.com</a>               |  0000-0002-8988-5911 |
| Лилия Ф. Пономарева | <sup>3</sup> | <a href="mailto:l.ponomareva@mgutm.ru">l.ponomareva@mgutm.ru</a>               |  0000-0002-2931-7074 |
| Елена А. Соловьева  | <sup>3</sup> | <a href="mailto:solovyeva@mgutm.ru">solovyeva@mgutm.ru</a>                     |  0000-0003-4894-8477 |

1 Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия

2 Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 115054, Россия

3 Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты разработки технологии производства пшеничного хлеба из цельнозерновой муки, полученной из зерна яровой мягкой пшеницы сорта «Тулайковская 10». Проведен анализ качественных характеристик данного сорта пшеницы и особенностей полученной муки, включая показатели содержания белка, клейковины и физико-химические свойства. Рассмотрены особенности формирования теста, состав его бродильной микрофлоры и современные методы приготовления, в том числе на заквасках с направленным культивированием микроорганизмов. Разработаны рецептуры и параметры производства пшеничного хлеба из цельнозерновой и сортовой муки. В ходе экспериментов определены оптимальные режимы разведения и промышленного использования густой пшеничной закваски, полученной из стартера спонтанного брожения. Проведена сравнительная оценка качества готового хлеба в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58233-2018. Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование заквасок с направленным культивированием микроорганизмов способствует улучшению пористости, текстуры и вкусовых качеств хлеба, а также увеличению срока его хранения за счет повышения кислотности и создания неблагоприятных условий для развития нежелательной микрофлоры. Технология производства хлеба из цельнозерновой муки позволяет получить продукт с высокой пищевой ценностью, богатый витаминами группы В, клетчаткой и минеральными веществами. Данный подход может быть востребован как в промышленном хлебопечении, так и в малых пекарнях, специализирующихся на выпуске ремесленного хлеба. Предложенные технологические решения направлены на повышение качества хлебобулочных изделий, улучшение их питательной ценности и расширение ассортимента полезных продуктов питания. Результаты работы могут быть использованы для дальнейших исследований в области хлебопекарного производства, совершенствования методов тестоприготовления и внедрения новых технологий, ориентированных на принципы здорового питания.

**Ключевые слова:** зерно яровой мягкой пшеницы «Тулайковская 10», пшеничная цельнозерновая мука, пшеничная густая закваска, хлеб пшеничный из обойной муки, хлеб пшеничный из муки первого сорта.

## The technology of making wheat bread made of whole grain flour

|                        |              |                                                                                |                                                                                                           |
|------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Natalya A. Shmal'ko    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kafedra-tith@ya.ru">kafedra-tith@ya.ru</a>                     |  0000-0002-8939-0265 |
| Tamara V. Vanitskaya   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:vanitskaya.toma@ya.ru">vanitskaya.toma@ya.ru</a>               |                                                                                                           |
| Lidiya A. Kudryavtseva | <sup>1</sup> | <a href="mailto:lida.kudryavtseva.02@mail.ru">lida.kudryavtseva.02@mail.ru</a> |                                                                                                           |
| Igor A. Nikitin        | <sup>2</sup> | <a href="mailto:nikito.igor@gmail.com">nikito.igor@gmail.com</a>               |  0000-0002-8988-5911 |
| Liliya F. Ponomareva   | <sup>3</sup> | <a href="mailto:l.ponomareva@mgutm.ru">l.ponomareva@mgutm.ru</a>               |  0000-0002-2931-7074 |
| Elena A. Solov'eva     | <sup>3</sup> | <a href="mailto:solovyeva@mgutm.ru">solovyeva@mgutm.ru</a>                     |  0000-0003-4894-8477 |

1 Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia

2 Plekhanov Russian University Of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 115054, Russia

3 K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

### Для цитирования

Шмалько Н.А., Ваницкая Т.В., Кудрявцева Л.А., Никитин И.А., Пономарева Л.Ф., Соловьева Е.А. Технология приготовления пшеничного хлеба из цельнозерновой муки // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 122–135. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-122-135

### For citation

Shmal'ko N.A., Vanitskaya T.V., Kudryavtseva L.A., Nikitin I.A., Ponomareva L.F., Solov'eva E.A. The technology of making wheat bread made of whole grain flour. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 122–135. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-122-135

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

**Abstract.** The article presents the results of the development of a technology for the production of wheat bread from wholemeal flour obtained from spring wheat of the Tulaykovskaya 10 variety. The qualitative characteristics of this wheat variety and the characteristics of the resulting flour, including protein, gluten, and physico-chemical properties, were analyzed. The peculiarities of dough formation, the composition of its fermenting microflora and modern cooking methods, including those based on ferments with directed cultivation of microorganisms, are considered. Formulations and parameters for the production of wheat bread from whole grain and varietal flour have been developed. During the experiments, optimal breeding modes and industrial use of thick wheat starter culture obtained from a spontaneous fermentation starter were determined. A comparative assessment of the quality of the finished bread was carried out in accordance with the requirements of GOST R 58233-2018. The results obtained indicate that the use of starter cultures with targeted cultivation of microorganisms improves the porosity, texture and taste of bread, as well as increases its shelf life by increasing acidity and creating unfavorable conditions for the development of undesirable microflora. The technology of wholemeal bread production makes it possible to obtain a product with high nutritional value, rich in B vitamins, fiber and minerals. This approach can be in demand both in industrial bakery and in small bakeries specializing in the production of artisan bread. The proposed technological solutions are aimed at improving the quality of bakery products, improving their nutritional value and expanding the range of healthy foods. The results of the work can be used for further research in the field of bakery production, improvement of dough preparation methods and introduction of new technologies focused on the principles of healthy nutrition.

**Keywords:** grain of spring soft wheat "Tulaykovskaya 10", whole wheat flour, wheat thick sourdough, wheat bread from whole flour, wheat bread from flour of the first grade.

### Введение

Пшеничный хлеб, по мнению К.А. Тимирязева, это «одно из тех эмпирических открытий, которое позднейшим научным изысканиям приходится только подтверждать и объяснять». Природа заложила в пшеничное зерно комплекс жизненно необходимых пищевых веществ: белков, углеводов, жиров, витаминов, минеральных соединений, длительное время сохраняющих свою биологическую активность. Хлебные растения, по мнению Д.Н. Прянишникова, «дают зерно с таким соотношением между азотистыми веществами, что человек может в случае нужды поддерживать свое существование даже только единым хлебом». Хлеб обладает постоянной, не снижающейся при ежедневном употреблении усвояемостью.

Как правило, хлебопекарную муку получают из мягкой пшеницы, зерновка которой отличается мучнистым, частично стекловидным и стекловидным эндоспермом. В среднем в зерне мягкой пшеницы содержание белка достигает 12,5%. Важным признаком качества зерна пшеницы является содержание и физические свойства клейковины. Сырая клейковина нормального зерна пшеницы содержит 170–210% воды по отношению к сухому веществу в зависимости от ее сорта и свойств. Свойствами клейковины в значительной степени определяется и качество хлеба. Стандартным способом качество сырой клейковины оценивают по упруго-эластичным свойствам (по величине сопротивления деформационной нагрузке сжатия на приборе ИДК).

Строение зерновки пшеницы является типичным для основных хлебных культур (рожь, ячмень, овес и т. п.) с небольшими изменениями. По форме зерновка пшеницы может быть овальной, овально-удлиненной, яйцевидной и состоит из трех основных частей – зародыша, который находится в нижней части зерна, эндосперма и оболочек, имеющих различное биологическое назначение.

Зародыш пшеницы характеризуется высоким содержанием ценных питательных веществ: аминокислот, сахаров, липидов, минеральных веществ, витаминов и ферментов. Содержание зародыша колеблется в пределах от 1,6 до 3,5% от массы сухого вещества зерна пшеницы. Присутствие в муке зародыша считается нежелательным, так как зародыш трудно подвергается измельчению, а содержащийся в нем жир быстро прогоркает, ускоряя порчу муки при хранении.

Эндоспермом называется внутренняя часть зерновки, содержащая запасные питательные вещества, необходимые для развития растения. Эндосперм состоит из наружной части – алевронового слоя (до 3,5–9,5%) и внутренней – мучнистого ядра (до 77–84%). Алевроновый слой выполняет две функции: является защитным слоем мучнистого ядра и служит запасом питательных веществ для зародыша. Мучнистое ядро состоит из крупных тонкостенных многогранных клеток, плотно заполненных зернами крахмала (крупными зернами или гранулами – пластидным крахмалом и мелкими – хондриосомным), белковыми и другими веществами. Стенки клеток мучнистого ядра состоят из клетчатки, гемицеллюлозы и минеральных веществ, склеены между собой пектином и водорастворимыми белками. В периферийной части зерна формируется белка больше, чем в центральной. Белковые молекулы со сферической или близкой к сферической форме образуют глобулярные белки, а нитевидные, палочковидные – фибриллярные.

Оболочки зерна защищают зерновку от воздействия внешней среды, механических и химических повреждений, подразделяются на плодовую и семенную. Плодовая оболочка состоит из трех слоев клеток: продольного (эпикарпий), поперечного (мезокарпий) и трубчатого (эндоскарпий). Семенная оболочка (перисперм) представляет собой стенки семязачатка и состоит также из трех слоев клеток: первый слой из прозрачных

клеток, плотно соединенный со средним слоем семенной оболочки; второй содержит красящие вещества (пигменты); третий – гиалиновый слой из непрозрачных набухающих клеток, примыкающими к алейроновому слою.

По химическому составу оболочки состоят в основном из неусвояемых веществ – клетчатки и полуклетчатки, характеризуются высоким содержанием минеральных веществ и витаминов. В зерне пшеницы содержание плодовой оболочки составляет 3,3–6,8%, семенной – 1,3–2,6% от массы сухого вещества зерна [12]. Распределение химических веществ по частям зерновки пшеницы приведено в таблице 1.

Муку хлебопекарную вырабатывают из мягкой пшеницы (или с примесью твердой

пшеницы не более 20%) шести сортов – экстра, крупчатка, высший, первый, второй сорт, обойная [3]. Виды хлебопекарных помолов – трехсортные, двухсортные, односортные и др., нормы выхода продукции которых изложены в правилах организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах [10]. В стандарте на муку (ГОСТ 26574–2017 [3]) предусматриваются следующие показатели качества: влажность, зольность, крупность помола (остаток на сите и проход через сито с ячейками определенного размера), количество и качество сырой клейковины, белизна, число падения, а также органолептические показатели (вкус, запах, цвет, наличие минеральной примеси). Отдельные показатели приведены в таблице 2.

Таблица 1.

Средний химический состав пшеничного зерна, % на сухое вещество (по Е.Д. Казакову, В.Л. Кретовичу)

Table 1.

Average chemical composition of wheat grain, % per dry substance (according to E.D. Kazakov, V.L. Kretovich)

| Наименование<br>Title                                            | Соотношение<br>частей<br>The ratio of parts | Белок<br>Protein | Липиды<br>Lipids | Углеводы   Carbohydrates |                |                    |                        | Зольность<br>Ash content |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------|------------------|--------------------------|----------------|--------------------|------------------------|--------------------------|
|                                                                  |                                             |                  |                  | крахмал<br>starch        | сахар<br>sugar | клетчатка<br>fiber | пентозаны<br>pentosans |                          |
| Целое зерно   Whole grain                                        | 100,0                                       | 16,06            | 2,24             | 63,07                    | 4,32           | 2,76               | 8,10                   | 2,18                     |
| Эндосперм   Endosperm                                            | 81,60                                       | 12,91            | 0,68             | 78,82                    | 3,54           | 0,15               | 2,72                   | 0,45                     |
| Зародыш   Germ                                                   | 3,24                                        | 41,30            | 15,04            | –                        | 25,12          | 2,46               | 9,74                   | 6,32                     |
| Оболочки с алейроновым<br>слоем<br>Shells with an aleurone layer | 15,16                                       | 28,75            | 7,78             | –                        | 4,18           | 16,20              | 32,50                  | 10,51                    |

Таблица 2.

Показатели качества муки пшеничной хлебопекарной (ГОСТ 26574–2017)

Table 2.

Quality indicators of baking wheat flour (GOST 26574–2017)

| Показатель<br>Indicator                                                                                                        | Сорт муки   Flour grade |                            |                    |                          |                           |                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                | экстра<br>extra         | высший<br>highest<br>grade | крупчатка<br>grits | первый<br>first<br>grade | второй<br>second<br>grade | обойная<br>dark                                                                                                                                                                            |
| Массовая доля влаги, %, не более<br>Mass fraction of moisture, %, no more                                                      | 15,0                    | 15,0                       | 15,0               | 15,0                     | 15,0                      | 15,0                                                                                                                                                                                       |
| Массовая доля золы в пересчете на сухое<br>вещество, %, не более<br>Mass fraction of ash in terms<br>of dry matter, %, no more | 0,45                    | 0,55                       | 0,60               | 0,75                     | 1,25                      | не менее,<br>чем на 0,07% ниже<br>зольности зерна до очистки,<br>но не более 2%  <br>at least 0,07% lower<br>than the ash content<br>of the grain before cleaning,<br>but not more than 2% |
| Белизна, усл. ед. прибора, не менее<br>Whiteness, standard unit of the device, not less                                        | –                       | 54,0                       | –                  | 36,0                     | 12,0                      | –                                                                                                                                                                                          |
| Массовая доля сырой клейковины,<br>%, не менее  <br>Mass fraction of crude gluten, %, not less                                 | 28,0                    | 28,0                       | 30,0               | 30,0                     | 25,0                      | 20,0                                                                                                                                                                                       |
| Качество сырой клейковины,<br>усл. ед. прибора ИДК   The quality of raw<br>gluten, standard unit of the IDK device             | 35–100                  | 35–100                     | 35–100             | 35–100                   | 40–100                    | 35–100                                                                                                                                                                                     |
| Число падения, с   The falling number, s                                                                                       | 185                     | 185                        | 185                | 185                      | 160                       | 160                                                                                                                                                                                        |

Химический состав пшеничной муки зависит от ее сорта и выхода, а также сорта зерна, условий его выращивания, почвенно-климатических, агротехнических особенностей и др. В таблице 3 приведены сведения о химическом

составе пшеничной хлебопекарной муки, отражающие средневзвешенные данные в целом по стране, без учета сортовых, географических, технологических и других факторов [16].

Химический состав муки пшеничной хлебопекарной

Таблица 3.

Chemical composition of baking wheat flour

Table 3.

| Пищевые вещества   Food substances                    | Мука пшеничная, сорт   Wheat flour, grade |                       |                        |                 |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|
|                                                       | высший<br>highest grade                   | первый<br>first grade | второй<br>second grade | обойная<br>dark |
| Вода, %   Water, %                                    | 14,0                                      | 14,0                  | 14,0                   | 14,0            |
| Белки, %   Proteins, %                                | 10,3                                      | 10,6                  | 11,6                   | 11,5            |
| Жиры, %   Oils, %                                     | 1,1                                       | 1,3                   | 1,8                    | 2,2             |
| Моно- и дисахариды, %   Mono- and disaccharides, %    | 1,6                                       | 1,8                   | 2,2                    | 2,3             |
| Крахмал, %   Starch, %                                | 68,5                                      | 66,7                  | 62,0                   | 58,5            |
| Пищевые волокна, %   Dietary fiber, %                 | 3,5                                       | 4,4                   | 6,7                    | 9,3             |
| Зола, %   Ash, %                                      | 0,5                                       | 0,7                   | 1,1                    | 1,5             |
| Минеральные вещества, мг%   Mineral substances, mg %  |                                           |                       |                        |                 |
| Na                                                    | 3                                         | 4                     | 6                      | 7               |
| K                                                     | 122                                       | 176                   | 251                    | 310             |
| Ca                                                    | 18                                        | 24                    | 32                     | 39              |
| Mg                                                    | 16                                        | 44                    | 73                     | 94              |
| P                                                     | 86                                        | 115                   | 184                    | 336             |
| Fe                                                    | 1,2                                       | 2,1                   | 3,9                    | 4,7             |
| Витамины, мг %   Vitamins, mg %                       |                                           |                       |                        |                 |
| E                                                     | 1,5                                       | 1,8                   | 3,2                    | 3,3             |
| B <sub>1</sub>                                        | 0,17                                      | 0,25                  | 0,37                   | 0,41            |
| B <sub>2</sub>                                        | 0,04                                      | 0,08                  | 0,12                   | 0,15            |
| PP                                                    | 1,2                                       | 2,2                   | 4,6                    | 5,5             |
| Аминокислоты – лизин, мг%   Amino acids – lysine, mg% | 250                                       | 265                   | 330                    | 390             |

Как видно из данных таблицы 3, мука пшеничная обойная отличается лучшим химическим составом по содержанию белков, жиров, моно- и дисахаридов, пищевых волокон, минеральных и витаминных веществ, а также лимитирующей аминокислотой – лизином. Несмотря на указанное преимущество обойной пшеничной муки, ее использование в последнее время в хлебопекарном производстве маломасштабно, как и проведение научных изысканий по применению данного ценного растительного ресурса. Напротив, интерес исследователей возник к цельнозерновой или цельносмолотой муке из зерна пшеницы, базируясь на принципах концепции здорового питания. Перечислим наиболее поздние научные работы в данном направлении: изучение особенностей технологических свойств муки пшеничной цельносмолотой и цельнозерновой [6], химического состава цельнозерновой муки из селекционных сортов пшеницы [2], применение ее при производстве хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности [1], разработки технологии производства пшеничного хлеба из цельнозерновой муки [17] и др.

С учетом накопленного опыта производства широкого ассортимента хлебобулочных изделий с добавлением зерновых, зернобобовых, масличных культур и продуктов их переработки проведены исследования влияния цельнозерновой муки на биотехнологические свойства заквасок в технологии хлебобулочных изделий.

С этой целью было изучено качество пшеничной и ржаной цельнозерновой муки четырех производителей. Проведен анализ физико-химических и микробиологических показателей качества заквасок, приготовленных с использованием различных видов цельнозерновой муки. В результате проведенных исследований установлено, что для муки пшеничной цельнозерновой с зольностью ниже 1,0% и для муки ржаной цельнозерновой с зольностью ниже 1,4% в пересчете на сухое вещество требуется увеличение продолжительности созревания закваски, приблизительно на 60 мин, для достижения заданной кислотности и увеличения количества молочнокислых бактерий в ней. При этом, в хлебе с использованием заквасок с большим значением показателя кислотности выявлена более высокая устойчивость к картофельной болезни и плесневению мякиша, что обусловлено получением более высокой кислотности мякиша хлебобулочного изделия [5].

Отдельным вопросом для изучения является определение влияния различных дозировок пробиотических заквасок на потребительские свойства хлеба из смеси пшеничной и цельнозерновой муки, в частности, на предупреждение развития микробиологической порчи и сохранение микробиологической стойкости при хранении [8, 9].

Отсюда следует, что заквасочный способ приготовления пшеничного теста при переработке цельнозерновой муки набирает популярность

в хлебопечении. Для оценки эффективности того или иного способа приготовления пшеничного теста с применением цельнозерновой муки необходимо исследовать вопрос о приготовлении теста на заквасках с направленным культивированием микроорганизмов. Еще в 1936–1939 годы впервые вместо заквасок спонтанного происхождения были испытаны при приготовлении теста из муки пшеничной первого и второго сорта закваски на чистых культурах молочнокислых бактерий. Типичным представителем таких молочнокислых заквасок является созданная в 1990-е годы концентрированная молочнокислая закваска – КМКЗ (авторы идеи В.В. Щербатенко, В.А. Патт, Л.Н. Казанская), которая представляет собой сброженный селекционированными штаммами молочнокислых бактерий мучной полуфабрикат. На основе КМКЗ разработан и используется в промышленности экспрессный способ приготовления теста из пшеничной муки.

А.В. Витавской в 1980–1990-е годы создавалась технология высококислотной пшеничной закваски с культивированием мезофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus fermenti* – 27 в мучной среде при  $37 \pm 2$  °C, отличающихся повышенной антибиотической активностью по отношению к спорообразующим бактериям, вызывающим картофельную болезнь хлеба. Закваски отличаются критической величиной pH – 3,4–3,5 и высокой титруемой кислотностью – 22–25 град. На основе применения данных высококислотных заквасок разработана технология пшеничного хлеба повышенной микробиологической чистоты, препятствующая развитию картофельной болезни хлеба.

Помимо обычно применяемого способа селекции новых штаммов и культур микроорганизмов – выделения из производственных сред, используют и другие более эффективные способы: адаптацию, гибридизацию, мутагенез, смешанные способы селекции. Подбор культур микроорганизмов проводят на основе их симбиотической активности в мучных средах (водно-мучные смеси, осахаренные заварки), обеспечивающих в результате жизнедеятельности обогащение заквасок витаминами, органическими кислотами, продуктами биохимических превращений компонентов муки и др. [12].

По способу формирования микробиоты закваски (по типу инокулирования микроорганизмов) разделяют на три типа заквасок (типы I, II, III): тип I – закваски спонтанного происхождения,

получаемые в домашних условиях и ремесленных пекарнях; тип II – готовые коммерческие инактивированные закваски, в которых микробиом формируется за счет добавления стартовых культур микроорганизмов; тип III – готовые коммерческие инактивированные закваски, которые готовят по аналогии с заквасками II типа путем заквашивания водно-мучной питательной смеси стартовыми культурами микроорганизмов. Последние два типа заквасок часто используют подкислителями.

«Живые» закваски – закваски I типа представляют собой спонтанные закваски, в которых микробиом формируется за счет развития автохтонных микроорганизмов муки и воды в процессе ежедневного возобновления закваски смесью муки и воды с последующей ферментацией. Регулярные освежения позволяют поддерживать метаболическую активность молочнокислых бактерий и дрожжей. Возможно также хранение закваски в холодильнике в течение нескольких дней или недель, чтобы обеспечить более редкое освежение и / или контролировать микробный состав. Однако формирование правильной бродильной микробиоты в заквасках I типа происходит только в процессе длительного ведения. Направление процесса брожения определяется исходной обсемененностью муки [ $< 4$  до  $7 \log$  (КОЕ/г)], доступностью питательных веществ, а также физико-химическими параметрами водно-мучной питательной смеси – температурой, влажностью, pH, окислительно-восстановительным потенциалом, титруемой кислотностью, продолжительностью брожения [13].

Хотя в производстве пшеничного хлеба применение заквасок не является технологической необходимостью, поскольку его можно приготовить только на дрожжах, их использование позволяет улучшить текстуру, вкус, пищевую ценность и срок годности хлебобулочных изделий. Разработанные на основе пшеничных заквасок технологии с направленным культивированием микроорганизмов обеспечивают улучшение качества хлебобулочных изделий из муки с пониженными свойствами, интенсифицирование процесса тестоприготовления, улучшение качества, вкуса, запаха при ускоренных способах приготовления теста, повышение микробиологической чистоты продукции, появление «устойчивости» технологий и стабилизацию качества продукции в регионах экологического неблагополучия, а также в условиях жаркого климата и высоких температур (таблица 4).

Таблица 4.  
Применение технологий хлебобулочных изделий с направленным культивированием микроорганизмов на пшеничных заквасках

Table 4.  
Application of bakery products technologies with directed cultivation of microorganisms on wheat sourdough

| Технологическая эффективность<br>Technological efficiency                                                                                                                                 | Закваска   Sourdough                                                                       |                                                                                                           |                                                                                     |                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                           | ацидофильная<br>acidophilic                                                                | комплексная<br>comprehensive                                                                              | витаминная<br>vitaminous                                                            | пропионокислая<br>propionic                                                                                      |
| Отличительные свойства заквасок<br>Distinctive properties of sourdough                                                                                                                    | протеолитическая активность, кислото-накопление<br>proteolytic activity, acid accumulation | летучие соединения, кислоты, бактерицидные свойства<br>volatile compounds, acids, bactericidal properties | витамины: бета-каротин, В <sub>12</sub><br>vitamins: beta-carotene, В <sub>12</sub> | бактерицидные и фунгицидные свойства, В <sub>12</sub><br>bactericidal and fungicidal properties, В <sub>12</sub> |
| Улучшение качества изделий из муки с пониженными свойствами: Improving the quality of flour products with reduced properties:                                                             |                                                                                            |                                                                                                           |                                                                                     |                                                                                                                  |
| со слабой клейковиной<br>with weak gluten                                                                                                                                                 |                                                                                            | +                                                                                                         | +                                                                                   |                                                                                                                  |
| с крепкой клейковиной<br>with strong gluten                                                                                                                                               | +                                                                                          |                                                                                                           |                                                                                     |                                                                                                                  |
| Ускоренный способ приготовления теста:<br>The accelerated method of dough preparation:                                                                                                    |                                                                                            |                                                                                                           |                                                                                     |                                                                                                                  |
| для булочных изделий<br>for bakery products                                                                                                                                               | +                                                                                          | +                                                                                                         | +                                                                                   |                                                                                                                  |
| для сдобных изделий<br>for pastry products                                                                                                                                                | +                                                                                          |                                                                                                           |                                                                                     |                                                                                                                  |
| Предотвращение картофельной болезни хлеба и плесневения<br>Preventing potato disease of bread and mold                                                                                    |                                                                                            | +                                                                                                         |                                                                                     | +                                                                                                                |
| Повышение «устойчивости» технологий и стабилизация качества изделий в регионах:<br>Improving the «sustainability» of technologies and stabilizing the quality of products in the regions: |                                                                                            |                                                                                                           | +                                                                                   |                                                                                                                  |
| экологического неблагополучия<br>environmental problems                                                                                                                                   |                                                                                            |                                                                                                           |                                                                                     |                                                                                                                  |
| с жарким климатом<br>with a hot climate                                                                                                                                                   |                                                                                            |                                                                                                           | +                                                                                   |                                                                                                                  |

**Цель работы** - проведение теоретических и экспериментальных исследований для разработки технологии приготовления пшеничного хлеба из цельнозерновой муки.

#### Материалы и методы

Объекты исследований – зерно сорта мягкой яровой пшеницы «Тулайковская 10», получаемая из него мука пшеничная цельнозерновая жернового помола, мука пшеничная хлебопекарная первого сорта, закваска-стартер спонтанного брожения из ржаной муки, культивируемая из нее закваска пшеничная густая, тесто пшеничное, хлеб пшеничный из обойной муки, хлеб пшеничный из муки первого сорта.

Выбор сорта зерна пшеницы обусловлен положительными результатами апробации в хлебопечении при изготовлении ремесленного хлеба на закваске спонтанного брожения из цельнозерновой муки [19], а также селекционными испытаниями зерна при размоле в пшеничную муку с высоким содержанием и качеством сырой клейковины [18].

В данном исследовании производили изучение стандартных показателей качества зерна пшеницы: натуру, г/дм<sup>3</sup>, по ГОСТ 10840–2017 – 1003 ± 1; стекловидность, %, по ГОСТ 10987 – 76–64 ± 5; масса 1000 зерен, г, по ГОСТ 10842 – 89–35,0 ± 0,1; влажность, %, по ГОСТ 13586.5–2015 – 11,0 ± 0,1; титруемая кислотность, град, по ГОСТ 10844–74 – 4,0 ± 0,1; число падения, с, по ГОСТ 27676–88 – 248 ± 1. Сорная и зерновая примеси в зерне не обнаружены.

Результаты свидетельствуют о принадлежности изучаемой пробы зерна пшеницы «Тулайковская 10» к первому классу качества, что подтверждается высоким качеством пшеничной хлебопекарной (проба 1) и цельнозерновой (проба 2) муки, получаемой при помоле пробы зерна данного сорта: влажность, %, по ГОСТ 9404–88, в пробе 1 – 12,4 ± 0,1, в пробе 2 – 12,0 ± 0,1; количество клейковины, %, по ГОСТ 27839–2013, в пробе 1 – 34,2 ± 0,1, в пробе 2 – 28,8 ± 0,1; качество клейковины, ед. пр. ИДК, по ГОСТ 27839–2013, в пробе 1 – 60,0 ± 0,1, в пробе 2 – 57,3 ± 0,1; число падения, с,

по ГОСТ 27676–88, в пробе 1 – отсутствуют данные (при  $346 \pm 1$  в зерне), пробе 2 –  $342 \pm 1$ .

В изучаемых пробах муки определяли гидратационную способность, т. е. содержание воды в ней в процентах к массе сухой клейковины, для чего отмытую сырую клейковину высушивали на приборе ВНИИХП ВЧ в газетном пакете размером  $16 \times 16$  см в течение 10 мин при  $160^\circ\text{C}$ . Одновременно по данным высушивания определяли сухую клейковину в муке (в процентах к массе муки) согласно рекомендациям [7]. Установили, что гидратационная способность пшеничной муки в пробе 1 составляет  $212,5 \pm 0,5\%$ , в пробе 2 –  $177,8 \pm 0,5\%$  при уровне абсорбционной способности по воде глютена марки А не менее  $150\%$  согласно требований ГОСТ 31934–2012.

Размеры частиц хлебопекарной муки или крупность помола определяют ее хлебопекарные достоинства, оказывая влияние на скорость протекания биохимических и коллоидных процессов в тесте, свойства теста, качество и выход хлеба [20]. Крупность помола частиц муки изучали по ГОСТ 27560–87 с использованием комплекса сит из синтетической ткани по ГОСТ 4403–91.

Расчет вариации показателя крупности муки осуществляли с помощью интернет-ресурса «Показатели вариации онлайн» (<http://math.semestr.ru/group/variations.php>) на основе расчета показателей интервального ряда (в мкм): (156; 166), (166; 196), (196; 220), (220; 226), (226; 264), (264; 280).

В построенном интервальном вариационном ряду показателя крупности помола для муки пшеничной первого сорта ТНВ «Пугачевское» (г. Пенза, Россия) средний размер частиц составил  $247,19 \pm 0,01$  мкм при коэффициенте вариации, равном  $13,4\%$ ; для муки пшеничной цельнозерновой ТМ «Хомяков-Хлеб» (г. Краснодар, Россия) –  $173,90 \pm 0,01$  мкм при коэффициенте

вариации, равном  $12,38\%$ , существенного отклонения эмпирического распределения от нормального не выявлено. Разница, наблюдаемая между средним размером частиц изучаемых проб муки, объясняется в применении различных схем отбора отрубей производителями, что для цельнозерновой муки позволяет прогнозировать более высокие хлебопекарные свойства, чем требует стандарт на хлебопекарную обойную муку.

Определение цвета муки по ГОСТ 27558–87 по сухой и мокрой пробе существенных различий, свидетельствующих о ферментативном окислении, не обнаружило. Свежесть проб пшеничной муки, косвенно определяемая по титруемой кислотности согласно ГОСТ 27493–87, отвечала нормам: для хлебопекарной муки – не более  $3,8 \pm 0,1$  град, для цельнозерновой муки – не более  $2,3 \pm 0,1$  град.

В качестве закваски-стартера использовали густую ржаную закваску спонтанного брожения, сохраняемую до освеживания в охлажденном виде. Ввод закваски в производство осуществляли путем ее согревания и освеживания четыре раза подряд через каждые  $5,5\text{--}6$  ч при температуре  $28\text{--}30^\circ\text{C}$ . Физико-химические свойства заквасок оценивали общепринятыми методами [11]: влажность (в%) экспресс-методом на приборе Чижиной, кислотность (в град) методом титрования, подъемную силу (в мин) методом всплытия шарика.

Ранее изучали количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), КОЕ/г по ГОСТ 10444.15–94, бактерий группы кишечных палочек (колиформы) (БГКП) в 1 г продукта по ГОСТ 31747–2012, плесеней, дрожжей, КОЕ/г по ГОСТ 10444.12–2013, молочнокислых микроорганизмов по ГОСТ 10444.11–2013, Staphylococcus aureus в 1 г продукта по ГОСТ 31746–2012 в объектах исследования, указанных в таблице 5 [19].

Таблица 5.

Результаты исследования микробиологических показателей сырья и закваски

Table 5.

The results of the study of microbiological parameters of raw materials and starter culture

| Образец<br>Sample                                                   | КМАФАнМ, КОЕ/г<br>Mesophilic aerobic and<br>facultative anaerobic<br>microorganisms, CFU/g | БГКП (колиформы)<br>в 1 г продукта<br>Bacteria of the<br>E. coliform group (coliforms)<br>in 1 g of the product | Молочнокислые<br>микроорганизмы<br>Lactic acid<br>microorganisms | Плесени,<br>КОЕ/г<br>Mold,<br>CFU/g | Дрожжи,<br>КОЕ/г<br>Yeast,<br>CFU/g |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Зерно пшеницы   Wheat grain                                         | $1,2 \times 10^3$                                                                          | –                                                                                                               | $1,0 \times 10^3$                                                | $<1,0 \times 10$                    | $<1,0 \times 10$                    |
| Мука пшеничная<br>Цельнозерновая  <br>Whole grain wheat flour       | $1,8 \times 10^3$                                                                          | –                                                                                                               | $3,0 \times 10^2$                                                | $6,0 \times 10$                     | $<1,0 \times 10$                    |
| Мука пшеничная первого сорта  <br>Wheat flour of the first grade    | $1,2 \times 10^3$                                                                          | –                                                                                                               | $<1,0 \times 10$                                                 | $2,4 \times 10^2$                   | $<1,0 \times 10$                    |
| Стартер-закваска из ржаной<br>муки   Starter made of rye flour      | $6,8 \times 10^5$                                                                          | –                                                                                                               | $3,8 \times 10^7$                                                | $<1,0 \times 10$                    | $6,4 \times 10^8$                   |
| Стартер-закваска из пшеничной<br>муки   Starter made of wheat flour | $8,0 \times 10^5$                                                                          | –                                                                                                               | $4,6 \times 10^7$                                                | $<1,0 \times 10$                    | $6,8 \times 10^8$                   |

В предыдущей работе [19] отмечается, что посевы микрофлоры зерна, муки и закваски на плотные питательные среды показали различное в них содержание мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных, молочно-кислых микроорганизмов, плесеней и дрожжей при отсутствии бактерий группы кишечной палочки (колиформы). Очевидно, что переработка зерна в цельнозерновую муку приводит к снижению обсемененности сырья молочнокислыми микроорганизмами, плеснями и дрожжами за счет удаления загрязненных частиц оболочек в результате специальной схемы отбора отрубей, снижая вероятность попадания в готовую продукцию микотоксинов и гликозидов.

Для пшеничной муки первого сорта промышленного изготовления в отличие от муки ремесленного изготовления выявлено повышенное содержание плесени, что может при неблагоприятных условиях оказывать отрицательное влияние на сохранность хлебопекарной продукции. Стартеры-закваски из цельнозерновой ржаной и пшеничной муки обладают высоким содержанием мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных, молочнокислых микроорганизмов

и дрожжей с преимуществом последних без обнаружения бактерий группы кишечной палочки (колиформы), формируя специфический для брожения полуфабриката микробиом [19].

### Результаты и обсуждение

Для проведения экспериментальных исследований процесса изготовления пшеничного хлеба из цельнозерновой муки, получаемой из зерна яровой мягкой пшеницы сорта «Тулайковская 10», разрабатывали способы производства хлеба пшеничного из обойной муки и пшеничного из муки первого сорта по ГОСТ Р 58233–2018 [4].

В опытных условиях хлеб пшеничный из обойной муки и пшеничный из муки первого сорта изготавливали из муки пшеничной цельнозерновой жернового помола ТМ «Хомяков-Хлеб» (г. Краснодар, Россия) при полной замене в рецептуре пшеничной хлебопекарной обойной муки. Форма изделия прямоугольная, соответствующая хлебопекарной овальной форме Л11 по ГОСТ 17327–95, масса штучного изделия 0,4 кг. Рецептура изделий представлена в таблице 6.

Таблица 6.

Рецептура (на 100 кг муки) хлеба из пшеничной муки

Table 6.

Recipe (per 100 kg of flour) of wheat flour bread

| Сорт хлеба<br>Sort of bread                                                       | ГОСТ<br>GOST              | Мука<br>пшеничная<br>обойная<br>Dark wheat flour | Мука пшеничная<br>первого сорта<br>Wheat flour<br>of the first grade | Дрожжи<br>прессованные<br>хлебопекарные<br>Pressed baking yeast | Соль<br>поваренная<br>пищевая<br>Table salt |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Хлеб пшеничный из обойной муки  <br>Wheat bread made from dark flour              | 58233–2018                | 100                                              | –                                                                    | 0,5                                                             | 1,3                                         |
| Хлеб пшеничный из муки первого сорта  <br>Wheat bread made from first grade flour | То же  <br>The same thing | –                                                | 100                                                                  | 1,0                                                             | 1,3                                         |

По технологической инструкции [15] хлеб пшеничный из обойной муки вырабатывают весовым, штучным, в формах и на поду. Масса весового хлеба не более 3 кг, штучного хлеба формового – 0,8–1,3 кг, подового – 0,7–1,0 кг. Подовый хлеб выпекают округлой и продолговато-овальной формы с размером круглого изделия массой 1,0 кг – 15–20 см. Тесто готовят опарным способом, преимущественно на жидкой опаре, на пшеничной закваске или на концентрированной

молочнокислой закваске. Закваску получают путем двух-трех освежений ржаной закваски пшеничной обойной мукой с последующим накоплением до количества, необходимого производству (таблица 7).

Для замеса теста в тестомесильную машину дозируется закваска, солевой раствор, вода, при перемешивании сыпается мука и производится замес до получения однородной массы (таблица 8).

Таблица 7.

Рецептура и режим приготовления пшеничной закваски в разводочном цикле

Table 7.

The formulation and mode of preparation of wheat sourdough in the breeding cycle

| Наименование сырья, полуфабрикатов и показателей процесса<br>The name of raw materials, semi-finished products and process indicators | Стадии разводочного цикла<br>Stages of the breeding cycle |         |         |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
|                                                                                                                                       | I                                                         | II      | III     | IV      |
| Закваска из ржаной обойной муки кислотностью 12–13 град, кг<br>Sourdough of rye whole flour with an acidity of 12–13 degrees, kg      | 2,5                                                       | –       | –       | –       |
| Закваска предыдущей стадии, кг   Sourdough of the previous stage, kg                                                                  | –                                                         | 11,0    | 32,0    | 56,0    |
| Мука пшеничная хлебопекарная обойная, кг   Baking whole wheat flour, kg                                                               | 5,0                                                       | 17,0    | 47,0    | 67,0    |
| Дрожжи хлебопекарные прессованные, кг   Pressed baking yeast, kg                                                                      | 0,1                                                       | –       | –       | –       |
| Вода, кг   Water, kg                                                                                                                  | 3,5                                                       | 12      | 33      | 47      |
| Влажность, %   Moisture, %                                                                                                            | 49–50                                                     | 49–50   | 49–50   | 49–50   |
| Температура начальная, °C   Initial temperature, °C                                                                                   | 27–29                                                     | 27–29   | 27–29   | 27–29   |
| Продолжительность брожения, мин   Duration of fermentation, min                                                                       | 210–240                                                   | 210–240 | 210–240 | 210–240 |
| Кислотность конечная, град   Final acidity, deg                                                                                       | 9–10                                                      | 10–11   | 11–12   | 11–12   |

Таблица 8.

Рецептура и режим приготовления теста на пшеничных заквасках

Table 8.

The recipe and the mode of preparation of the dough on wheat starter cultures

| Наименование сырья,<br>полуфабрикатов и показателей процесса<br>The name of raw materials,<br>semi-finished products and process indicators | Расход сырья и параметры<br>процесса по стадиям<br>Raw material consumption and<br>process parameters by stages |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                             | тесто   dough                                                                                                   |
| Мука пшеничная хлебопекарная обойная, кг   Baking dark wheat flour, kg                                                                      | 71                                                                                                              |
| Закваска, кг   Sourdough, kg                                                                                                                | 49                                                                                                              |
| Соль поваренная пищевая, кг   Table salt, kg                                                                                                | 1,3                                                                                                             |
| Вода питьевая, кг   Drinking water, kg                                                                                                      | по расчету   by calculation                                                                                     |
| Температура начальная, °C   Initial temperature, °C                                                                                         | 29–31                                                                                                           |
| Продолжительность брожения, мин   Duration of fermentation, min                                                                             | 60–90                                                                                                           |
| Кислотность конечная закваски, град   Final sourdough acidity, deg                                                                          | 11,0                                                                                                            |
| Кислотность конечная теста, град, не более   Final acidity of the dough, deg, no more                                                       | 7,0                                                                                                             |

В опыте процесс приготовления теста для хлеба пшеничного из обойной муки включал три стадии: разводочный цикл закваски, производственный цикл закваски, замес и брожение хлебопекарного теста. Для выведения закваски по разводочному циклу использовали вариант IV фазы разводочного цикла пшеничной густой закваски на стартере из ржаной муки согласно рекомендациям [15]. Рецепт IV фазы разводочного цикла пшеничной закваски (на 170 кг) следующая: закваска предыдущей фазы (стартер из ржаной муки) – 56 кг, мука пшеничная цельнозерновая – 67 кг, вода – 47 кг. Влажность фазы – 49–50%, температура начальная – 27–29 °C, кислотность конечная 11–12 град, продолжительность брожения – 210–240 мин.

Закваска густая из пшеничной цельнозерновой муки в производственном цикле отличалась влажностью  $46,8 \pm 0,1\%$ , титруемой кислотностью

$12,3 \pm 0,1$  град, подъемной силой методом «шарика»  $30 \pm 1$  мин. Рецепт и режим приготовления теста для хлеба пшеничного из цельнозерновой муки взяты аналогичными как для хлеба пшеничного из обойной муки и приведены в таблице 8.

По органолептическим показателям опытные образцы хлеба пшеничного из цельнозерновой муки не отличались от характеристик стандартного образца. Сравнительная характеристика физико-химических показателей качества хлеба пшеничного из обойной муки, взятых из стандарта [4] и результатов опыта, приведена в таблице 9. Очевидно, что значительное отличие в качественных характеристиках «пробы по стандарту» и пробы в опыте наблюдается только в показателе кислотности, не превышающем верхний предел по норме стандарта.

Таблица 9.

Сравнительная характеристика физико-химических показателей качества хлеба пшеничного из обойной муки, взятых из стандарта и результата опыта

Table 9.

Comparative characteristics of the physico-chemical quality indicators of wheat dark bread, taken from the standard and the result of the experiment

| Показателя<br>Indicator                                                   | Стандартный образец<br>Standard sample | Опытный образец<br>The prototype |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Влажность мякиша, %, не более   Moisture content of the crumb, %, no more | 50,0                                   | 46,2                             |
| Кислотность мякиша, град, не более   Acidity of the crumb, deg, no more   | 8,0                                    | 5,8                              |
| Пористость, %, не менее   Porosity, %, not less                           | 54,0                                   | 54,2                             |

Хлеб из пшеничной муки первого сорта вырабатывают подовым и формовым массой 0,5–1,1 кг для штучного и не более 3,0 кг для весового. Подовый хлеб имеет продолговатую или округлую форму с наколами или с 4–6 косыми надрезами на поверхности. Диаметр круглого хлеба массой 1,0 кг из муки пшеничной первого сорта – 23–26 см. Формовой хлеб выпекают в формах хлебопекарных в соответствии с массой выпекаемого изделия. По традиционной технологии тесто готовят любым из способов, применяемых для производства изделий из пшеничной муки первого сорта,

предпочтительным является опарный способ: на большой густой и жидкой опаре [15].

Специалисты Санкт-Петербургского филиала НИИХП для выработки хлебобулочных изделий из муки пшеничной хлебопекарной высшего или первого разработали новый вид закваски – пшеничную густую закваску пониженной температуры с повышенной антибиотической активностью. Влажность – 40–42%, кислотность – 8–10 град из муки пшеничной первого сорта, подъемная сила «по шарик» до 25 мин.

Приготовление густой закваски в разводочном цикле осуществляют с применением

чистых культур молочнокислых бактерий и заквасочных дрожжей в жидком виде, а также сухого лактобактерина и чистых культур дрожжей. В производственном цикле пшеничную густую закваску, выведенную по разводочному циклу, накапливают до нужного количества и далее

поддерживают путем освежений при соотношении спелая закваска: питание – 1:1 или 1:2 с последующим брожением до требуемой кислотности. Рецепт и режимы приготовления пшеничной густой закваски в производственном цикле приведены в таблице 10.

Таблица 10.

Рецептура и режимы приготовления пшеничной густой закваски в производственном цикле

Table 10.

The formulation and modes of preparation of thick wheat sourdough in the production cycle

| Наименование сырья, полуфабрикатов и показателей процесса<br>Name of raw materials, semi-finished products and process indicators | Расход сырья и параметры процесса<br>Raw material consumption and process parameters |          |                                                  |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------|-----------|
|                                                                                                                                   | на 100 кг закваски<br>per 100 kg of sourdough                                        |          | на 100 кг муки в закваске<br>per 100 kg of flour |           |
| Закваска, кг   Sourdough, kg                                                                                                      | 50,0                                                                                 | 33,3     | 73,5–74,5                                        | 48,3–49,3 |
| Количество муки в закваске, кг<br>The amount of flour in the sourdough, kg                                                        | 33,5                                                                                 | 22,0     | 50,0                                             | 33,3      |
| Мука пшеничная первого сорта, кг<br>Wheat flour of the first grade, kg                                                            | 33,5                                                                                 | 45,4     | 50,0                                             | 66,7      |
| Вода питьевая, кг   Drinking water, kg                                                                                            | 16,5                                                                                 | 21,3     | 23,5–24,5                                        | 30,0–32,0 |
| Масса закваски, кг   Sourdough weight, kg                                                                                         | 100,0                                                                                | 100,0    | 147–149                                          | 145–148   |
| Соотношение закваски и питательной смеси<br>The ratio of sourdough and nutrient mixture                                           | 1:1                                                                                  | 1:2      | 1:1                                              | 1:2       |
| Влажность, %   Moisture, %                                                                                                        | 40,0–42,0                                                                            |          | 40,0–42,0                                        |           |
| Температура начальная, °C   Initial temperature, °C                                                                               | 18–22                                                                                |          | 18–22                                            |           |
| Кислотность конечная, град   Final acidity, deg                                                                                   | 6,5–8,0                                                                              | 6,5–10,0 | 6,5–8,0                                          | 6,5–10,0  |
| Подъемная сила, мин   Strength of the sourdough, min                                                                              | 12–20                                                                                | 12–20    | 12–20                                            | 12–20     |
| Продолжительность брожения, ч   Duration of fermentation, h                                                                       | 6–8                                                                                  | 12–18    | 6–8                                              | 12–18     |

Приготовление теста на густой пшеничной закваске производят в две стадии: закваска – тесто. При замесе теста с пшеничной густой закваской вносят 10–20% пшеничной муки от

общей массы муки в тесте. Рецепт и режимы приготовления теста для хлебобулочных изделий из пшеничной муки приведены в таблице 11.

Таблица 11.

Рецептура и режимы приготовления теста для хлебобулочных изделий на пшеничной густой закваске

Table 11.

The formulation and modes of preparation of dough for bakery products on wheat thick sourdough

| Наименование сырья, полуфабрикатов и показателей процесса<br>Name of raw materials, semi-finished products and process indicators | Расход сырья и параметры процесса для хлебобулочных изделий из муки пшеничной первого сорта<br>Raw material consumption and process parameters for bakery products made of wheat flour of the first grade |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Закваска, кг   Sourdough, kg                                                                                                      | 22,9–29,6                                                                                                                                                                                                 |
| Количество муки в закваске, кг*   The amount of flour in the sourdough, kg*                                                       | 15,0–20,0                                                                                                                                                                                                 |
| Мука пшеничная хлебопекарная, кг   Baking wheat flour, kg                                                                         | 85–80                                                                                                                                                                                                     |
| Дрожжи хлебопекарные прессованные, кг**   Pressed baking yeast, kg**                                                              | по рецептуре   according to recipe                                                                                                                                                                        |
| Улучшитель хлебопекарный «Лецитокс», кг***   Bread improver «Lecitox», kg***                                                      | 0,5                                                                                                                                                                                                       |
| Вода питьевая, кг   Drinking water, kg                                                                                            | by calculation                                                                                                                                                                                            |
| Влажность, %   Moisture, %                                                                                                        | $W_{\text{кл}} + 1,0; W_{\text{бр}} + 1,0$                                                                                                                                                                |
| Температура начальная, °C   Initial temperature, °C                                                                               | 27–28                                                                                                                                                                                                     |
| Кислотность конечная, град   Final acidity, deg                                                                                   | 3,0–5,0                                                                                                                                                                                                   |
| Продолжительность брожения, мин   Duration of fermentation, min                                                                   | 30                                                                                                                                                                                                        |

\*При использовании пшеничной закваски 15–20% мукой допускается полностью исключить из рецептуры хлебопекарные дрожжи, при этом продолжительность расстойки тестовой заготовки до готовности увеличивается до 1,5–2 ч |

\*When using wheat sourdough with 15–20% flour, it is allowed to completely exclude baking yeast from the recipe, while the duration of proofing the dough piece until ready increases to 1,5–2 hours

\*\*Допускается изменять дозировку хлебопекарных дрожжей в зависимости от условий производства |

\*\*It is allowed to change the dosage of baking yeast depending on the production conditions

\*\*\*Допускается замес теста без применения улучшителя | \*\*\*It is allowed to knead the dough without using an improver

В опыте согласно рекомендациям [14] процесс приготовления теста состоял из двух стадий: производственный цикл закваски и тесто. В производственном цикле пшеничной густой закваски использовали рецептуру и режим приготовления полуфабриката, представленные в таблице 10.

Закваску в производственном цикле получали путем двух-трех освежений пшеничной густой закваски из цельнозерновой муки жернового помола ТМ «Хомяков-Хлеб» (г. Краснодар, Россия) пшеничной мукой первого сорта

ТНВ «Пугачевское» (г. Пенза, Россия) с последующим накоплением до количества, необходимого производству при соотношении спелая закваска: питание – 1: 1 с последующим брожением до требуемой кислотности.

Закваска густая из пшеничной муки первого сорта в производственном цикле отличалась влажностью  $43,0 \pm 0,1\%$ , титруемой кислотностью  $10,5 \pm 0,1$  град, подъемной силой методом «шарика»  $25 \pm 1$  мин. Рецептура и режим приготовления теста для хлеба пшеничного из муки первого сорта приведены в таблице 12.

Таблица 12.  
Рецептура и режим приготовления теста для хлеба пшеничного из муки первого сорта на пшеничной густой закваске

Table 12.  
The recipe and the mode of preparation of the dough for wheat bread from flour of the first grade on wheat thick sourdough

| Наименование сырья, полуфабрикатов и показателей процесса<br>Name of raw materials, semi-finished products and process indicators | Расход сырья и параметры процесса приготовления теста на закваске<br>The consumption of raw materials and the parameters of the dough preparation process on sourdough |                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|                                                                                                                                   | закваска   sourdough                                                                                                                                                   | тесто   dough            |
| Закваска пшеничная густая, кг   Thick wheat sourdough, kg                                                                         | 50                                                                                                                                                                     | 33,3                     |
| Мука пшеничная первого сорта, кг   Wheat flour of the first grade, kg                                                             | 33,5                                                                                                                                                                   | 45,4                     |
| Соль поваренная пищевая, кг   Table salt, kg                                                                                      | –                                                                                                                                                                      | 1,8                      |
| Вода питьевая, кг   Drinking water, kg                                                                                            | 16,5                                                                                                                                                                   | по расчету   calculation |
| Влажность, %   Moisture, %                                                                                                        | 43,0                                                                                                                                                                   | 45,0                     |
| Температура начальная, °C   Initial temperature, °C                                                                               | 22–25                                                                                                                                                                  | 27–28                    |
| Продолжительность брожения, мин   Duration of fermentation, min                                                                   | 480                                                                                                                                                                    | 60                       |
| Кислотность конечная, град   Final acidity, deg                                                                                   | 10,5                                                                                                                                                                   | 4,0                      |

В целом, по органолептическим показателям опытные образцы хлеба пшеничного из муки первого сорта не отличались от характеристик стандартного образца. Сравнительная характеристика физико-химических показателей качества хлеба пшеничного из муки первого

сорта, взятых из стандарта [4] и результатов опыта, приведена в таблице 13. Отметим, что качественные характеристики «пробы по стандарту» и пробы в опыте практически не отличаются между собой, что свидетельствует о высоком качестве разработанных изделий.

Таблица 13.  
Сравнительная характеристика физико-химических показателей качества хлеба пшеничного из муки первого сорта, взятых из стандарта и результата опыта

Table 13.  
Comparative characteristics of the physico-chemical quality indicators of wheat bread from first-grade flour, taken from the standard and the result of the experiment

| Наименование показателя<br>Name of the indicator                              | Стандартный образец<br>Standard sample | Опытный образец<br>The prototype |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Влажность мякиша, %, не более   The moisture content of the crumb, %, no more | 47,0                                   | 44,2                             |
| Кислотность мякиша, град, не более   The acidity of the crumb, deg, no more   | 4,0                                    | 3,3                              |
| Пористость, %, не менее   Porosity, %, not less                               | 65,0                                   | 65,3                             |

Рекомендации по улучшению качества хлеба пшеничного при выявлении его недостатков в опыте можно свести к продолжению исследований, посвященных разработке способов приготовления

биологических заквасок, обеспечивающих улучшение вкуса, аромата изделий, их микробиологическую безопасность при переработке цельнозерновой муки взамен пшеничной обойной.

### Заключение

Проведенные теоретические исследования посвящены изучению особенностей пшеничного теста, состава микроорганизмов его бродильной микрофлоры и современных способов его приготовления, в том числе на заквасках с направленным культивированием микроорганизмов. Экспериментальные исследования процесса изготовления пшеничного хлеба из цельнозерновой и сортовой муки позволили произвести культивирование густой закваски из закваски спонтанного брожения, разработать схему ее разводочного

и производственного циклов, предложить технологические режимы приготовления хлеба пшеничного из обойной муки и муки первого сорта. Рекомендуем проведение дальнейших теоретических и экспериментальных исследований для разработки технологии приготовления пшеничного хлеба при совершенствовании способов тестоприготовления и при полной замене хлебопекарной пшеничной обойной муки в рецептуре изделия пшеничной цельнозерновой мукой, получаемой из зерна яровой мягкой пшеницы сорта «Тулайковская 10».

### Литература

- 1 Брыксина К.В., Толстова Н.Ю. Применение муки пшеничной цельнозерновой при производстве хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности // Наука и образование. 2022. Т. 5. № 2. С. 87.
- 2 Гартованная Е.А., Ермолаева А.В. Особенности химического состава цельнозерновой муки из селекционных сортов яровой пшеницы // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: мат. всероссийск. науч.-практ. конф. в 4-х томах. Т. 4. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет. 2022. С. 36–42. doi: 10.22450/9785964205517\_4\_5
- 3 ГОСТ 26574–2017 Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ. 2018. 16 с.
- 4 ГОСТ Р 58233–2018 Хлеб из пшеничной муки. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. 18 с.
- 5 Зуева А.Г., Мартиросян В.В., Невская В.В., Дорофеева И.А. Влияние цельнозерновой муки на биотехнологические свойства заквасок в технологии хлебобулочных изделий // Хлебопечение России. 2021. № 4. С. 43–50. doi: 10.37443/2073–3569–2021–1–4–43–50
- 6 Котова А.Г., Боровикова В.В., Ладнова О.Л. Особенности технологических свойств муки пшеничной цельнозерновой. Изучение технологических свойств цельнозерновой муки // Горизонты биотехнологии: сборник статей Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. 2024. С. 146–151.
- 7 Маслов И.Н., Чигова К.Н., Шкваркина Т.И., Запенина Н.В. и др. Технохимический контроль хлебопекарного производства. изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Пищевая промышленность. 1966. 396 с.
- 8 Позднякова О.Г., Курбанова М.Г., Назимова Е.М. Влияние пробиотической закваски на потребительские свойства хлеба из смеси пшеничной и цельнозерновой муки // Хлебопродукты. 2017. № 9. С. 56–59.
- 9 Zharkova I.M., Roslyakov Yu. F., Ivanchikov D.S., Sourdoughs of spontaneous (natural) fermentation in modern bakery production. Food Processing: Techniques and Technology. 2023. V. 53. № 3. P. 525–544.
- 10 Правила организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах. М.: ВНПО «Зернопродукт». 1991.
- 11 Darčević-Hadnadev T., Tomić J., Škrobot D., Šarić B. et al. Processing strategies to improve the breadmaking potential of whole-grain wheat and non-wheat flours // Discover Food. 2022. V. 2. № 1. P. 11.
- 12 Пучкова Л.И., Поляндова Р.Д., Матвеева И.В. Технология хлеба. СПб.: ГИОРД, 2005. 559 с.
- 13 Савкина О.А., Локарчук М.Н., Кузнецова Л.И., Павловская Е.Н. и др. Классификация заквасок, применяемых в отечественном и зарубежном хлебопечении // Хлебопечение России. 2022. № 5. Т. 66. С. 22–28. doi: 10.37443/2073–3569–2022–1–5–22–28
- 14 Косован А.П. Сборник современных технологий хлебобулочных изделий. М.: ГНУ ГОСНИИ хлебопекарной промышленности, 2008. 272 с.
- 15 Сборник технологических инструкций для производства хлеба и хлебобулочных изделий. М.: Прейскурантиздат, 1989. 494 с.
- 16 Скурихин И.М., Тютельян В.А. Химический состав российских пищевых продуктов. Справочник. М.: ДеЛи принт, 2002. 236 с.
- 17 Шантыко С.С. Технология производства пшеничного хлеба из цельнозерновой муки // Инновации в пищевой промышленности: образование, наука, производство: мат. V всероссийск. (нац.) науч.-практ. конф. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2022. С. 158–163.
- 18 Шмалько Н.А., Кудрявцева Л.А. Сортные особенности и хлебопекарные свойства зерна яровой мягкой пшеницы «Тулайковская 10» // Молодой ученый. 2024. № 18 (517). С. 49–53. URL: <https://moluch.ru/archive/517/113515/>
- 19 Шмалько Н.А., Мацакова Н.В., Демченко С.В., Ваницкая Т.В. и др. Микробиологическая безопасность хлеба из цельнозерновой муки ремесленного изготовления // Хлебопечение России. 2023. № 67(1). С. 55–64.
- 20 Elshahookie M. M., Cheyed S. H., Dawood A. A. Characteristics of whole wheat grain bread quality // Systematic Reviews in Pharmacy. 2021. V. 12. №. 1. P. 593–597.

## References

- 1 Bryksina K.V., Tolstova N. Yu. The use of whole wheat flour in the production of bakery products of increased nutritional value // Science and Education, 2022. no. 2. Vol. 5. pp. 87. (in Russian).
- 2 Gartovannaya E.A., Ermolaeva A.V. Features of the chemical composition of whole grain flour from breeding varieties of spring wheat // Agro-industrial complex: problems and prospects of development: materials of the All-Russian scientific and practical conference in 4 volumes. Vol. 4. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University 2022. pp. 36–42. doi: 10.22450/9785964205517\_4\_5 (in Russian).
- 3 State Standart 26574–2017. Baking wheat flour. Technical specifications. M.: Standartinform, 2017, 2018. 16 p. (in Russian).
- 4 State Standart 26574–2017. Baking wheat flour. Technical specifications. M.: Standartinform, 2017, 2018. 16 p. (in Russian).
- 5 Zueva A.G., Martirosyan V.V., Nevskaya V.V., Dorofeeva I.A. The influence of whole grain flour on the biotechnological properties of starter cultures in bakery technology // Bakery of Russia, 2021. no. 4. pp. 43–50. doi: 10.37443/2073–3569–2021–1–4–43–50 (in Russian).
- 6 Kotova A.G., Borovikova V.V., Ladnova O.L. Features of technological properties of whole wheat flour. Studying the technological properties of whole grain flour // Horizons of biotechnology: collection of articles of the International Scientific and practical Conference of students, postgraduates and young scientists. Orel: I.S. Turgenev Oryol State University. 2024. pp. 146–151. (in Russian).
- 7 Maslov I.N., Chizhova K.N., Shkvarkina T.I., Zapenina N.V. et al. Technochemical control of bakery production. ed. 4th, reprint. and additional M.: Food industry, 1966. 396 p. (in Russian).
- 8 Pozdnyakova O.G., Kurbanova M.G., Nazimova E.M. The effect of probiotic starter culture on the consumer properties of bread from a mixture of wheat and whole grain flour // Bread products, 2017. no. 9. pp. 56–59. (in Russian).
- 9 Ponomareva E.I., Voropaeva O.N., Storkh L.V. Investigation of the effect of the dosage of the starter culture "Evitalia" on the properties of dough and bread // Bakery of Russia. 2013. no. 6. pp. 35–36. (in Russian).
- 10 Rules for the organization and management of the technological process at flour mills. M.: VNPO "Zemoproduct", 1991. (in Russian).
- 11 Dapčević-Hadnađev T., Tomić J., Škrobot D., Šarić B. et al. Processing strategies to improve the breadmaking potential of whole-grain wheat and non-wheat flours // Discover Food. 2022. Vol. 2. no. 1. pp. 11.
- 12 Puchkova L.I., Polandova R.D., Matveeva I.V. Bread technology. St. Petersburg: GIOR, 2005. 559 p. (in Russian).
- 13 Savkina O.A., Lokarchuk M.N., Kuznetsova L.I., Pavlovskaya E.N. et al. Classification of starter cultures used in domestic and foreign bakery // Bakery of Russia, 2022. Vol. 66. no. 5. pp. 22–28. doi: 10.37443/2073–3569–2022–1–5–22–28 (in Russian).
- 14 Kosovan A.P. Collection of modern bakery technologies. M.: GNU State Research Institute of the bakery industry. 2008. 272 p. (in Russian).
- 15 Collection of technological instructions for the production of bread and bakery products. Moscow: Pricelist, 1989. 494 p. (in Russian).
- 16 The chemical composition of Russian food products. Guide / Edited by I.M. Skurikhin, V.A. Tutelyan. M.: Delhi Print, 2002. 236 p. (in Russian).
- 17 Shantyko S.S. Technology of production of wheat bread from whole grain flour // Innovations in the food industry: education, science, production: materials of the V All-Russian (national) scientific and practical conference. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University, 2022. pp. 158–163. (in Russian).
- 18 Shmalko N.A., Kudryavtseva L.A. Varietal features and baking properties of spring soft wheat grain "Tulaykovskaya 10" // Young scientist. 2024. no. 18 (517). pp. 49–53. URL: <https://moluch.ru/archive/517/113515> (in Russian).
- 19 Shmalko N.A., Matsakova N.V., Demchenko S.V., Vanitskaya T.V., et al. Microbiological safety of bread from wholegrain flour of artisan manufacture // Bakery of Russia. 2023. no. 67(1). pp. 55–64. (in Russian).
- 20 Elshahooki M. M., Chayed S. H., Dawood A. A. Characteristics of whole wheat grain bread quality // Systematic Reviews in Pharmacy. 2021. Vol. 12. no. 1. pp. 593–597.

## Сведения об авторах

**Наталья А. Шмалько** к.т.н., доцент, кафедра пищевой инженерии, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, [kafedra-tith@ya.ru](mailto:kafedra-tith@ya.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-8939-0265>

**Тамара В. Ваницкая** зав. лабораторией, микробиологическая лаборатория ИЦ «КубГТУ», Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, [vanitskaya.toma@ya.ru](mailto:vanitskaya.toma@ya.ru)

**Лидия А. Кудрявцева** студент бакалавриата, кафедра пищевой инженерии, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, [lida.kudryavtseva.02@mail.ru](mailto:lida.kudryavtseva.02@mail.ru)

**Игорь А. Никитин** д.т.н., доцент, зав. кафедрой, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 115054, Россия, [nikito.igor@gmail.com](mailto:nikito.igor@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

## Information about authors

**Natalya A. Shmal'ko** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Food Engineering, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, [kafedra-tith@ya.ru](mailto:kafedra-tith@ya.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-8939-0265>

**Tamara V. Vanitskaya** head of the laboratory, microbiological laboratory of the KubSTU Research Center, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, [vanitskaya.toma@ya.ru](mailto:vanitskaya.toma@ya.ru)

**Lidiya A. Kudryavtseva** undergraduate student, Department of Food Engineering, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, [lida.kudryavtseva.02@mail.ru](mailto:lida.kudryavtseva.02@mail.ru)

**Igor A. Nikitin** Dr. Sci. (Engin.), assistant professor, head of Department of Food Technology and Bioengineering, Plekhanov Russian University Of Economics, Stremenny lane, 36, Moscow, 115054, Russia, [nikito.igor@gmail.com](mailto:nikito.igor@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

**Лилия Ф. Пономарева** к.б.н., зав. кафедрой, кафедра технологии пищевых производств, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, l.ponomareva@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2931-7074>

**Елена А. Соловьева** к.т.н., доцент, доцент, кафедра технологии пищевых производств, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, solovyeva@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4894-8477>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Liliya F. Ponomareva** Cand. Sci. (Biological), assistant professor, head of department, Department of Food production technologies, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, l.ponomareva@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2931-7074>

**Elena A. Solov'eva** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Food production technologies, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, solovyeva@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4894-8477>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 21/10/2024 | После редакции 18/11/2024      | Принята в печать 25/11/2024 |
| Received 21/10/2024  | Accepted in revised 18/11/2024 | Accepted 25/11/2024         |

## Исследование способности культур ризобактерий колонизировать корневую систему сахарной свеклы

|                                |                                                                |                                                                                                         |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Надежда В. Безлер <sup>1</sup> | <a href="mailto:bezler@list.ru">bezler@list.ru</a>             |  0000-0001-9371-9564 |
| Ольга А. Федорова <sup>1</sup> | <a href="mailto:fed-olga78@mail.ru">fed-olga78@mail.ru</a>     |  0000-0001-7581-6141 |
| Юлия Н. Санеева <sup>1</sup>   | <a href="mailto:usaneeva69@gmail.com">usaneeva69@gmail.com</a> |                                                                                                         |
| Валерий Д. Цомае <sup>1</sup>  | <a href="mailto:valera-comaya@ya.ru">valera-comaya@ya.ru</a>   |                                                                                                         |

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия

**Аннотация.** В статье рассматривается способность ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3 колонизировать корневую систему сахарной свеклы. Исследование проводилось методом выращивания растений в полужидком (0,7%) голодном агаре, инокулированном указанными штаммами бактерий. Показано, что данные микроорганизмы могут приживаться и развиваться в ризосфере за счет корневых экссудатов, что подтверждает их фитопротекторные и ростстимулирующие свойства. Авторы анализируют влияние факторов окружающей среды на процесс колонизации, а также оценивают степень влияния исследуемых бактерий на полезную почвенную микрофлору. Выявлено, что внесенные микроорганизмы не оказывают ингибирующего воздействия на основные эколого-трофические группы микробиоты, участвующей в обеспечении плодородия почвы. Установлено, что процесс колонизации зависит от ряда факторов, включая состав корневых выделений, способность бактерий к адгезии, скорость их размножения и выживаемость в ризосфере. Метод оценки колонизирующей способности, основанный на выращивании растений в полужидком голодном агаре, показал свою эффективность и позволяет проводить быструю первичную диагностику перспективных штаммов ризобактерий. Экспериментально доказано, что в присутствии корневых экссудатов *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3 активно образуют микроколонии на корневой поверхности сахарной свеклы, начиная со 2–5 суток после инокуляции. Развитие бактериальных колоний усиливается к 14-м суткам, при этом наибольшая плотность наблюдается в области корневой верхушки. Полученные результаты подчеркивают перспективность использования данных штаммов в агротехнологиях, направленных на повышение устойчивости сахарной свеклы к фитопатогенам и улучшение ее роста. Важным выводом является отсутствие негативного воздействия ризобактерий на естественную микрофлору почвы, что подтверждает возможность их применения в качестве биопрепаратов в сельском хозяйстве.

**Ключевые слова:** ризобактерии, сахарная свекла, колонизирующая способность, *Agrobacterium tumefaciens* 184, *Streptomyces* sp. 3.

## Study of the ability of cultures of rhizobacteria to colonize the root system of sugar beet

|                                 |                                                                |                                                                                                           |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nadezhda V. Bezler <sup>1</sup> | <a href="mailto:bezler@list.ru">bezler@list.ru</a>             |  0000-0001-9371-9564 |
| Olga A. Fedorova <sup>1</sup>   | <a href="mailto:fed-olga78@mail.ru">fed-olga78@mail.ru</a>     |  0000-0001-7581-6141 |
| Julia N. Saneeva <sup>1</sup>   | <a href="mailto:usaneeva69@gmail.com">usaneeva69@gmail.com</a> |                                                                                                           |
| Valeriy D. Tsomaia <sup>1</sup> | <a href="mailto:valera-comaya@ya.ru">valera-comaya@ya.ru</a>   |                                                                                                           |

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A. L. Mazlumov, VNIISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia

**Abstract.** The article discusses the ability of the rhizobacteria *Agrobacterium tumefaciens* 184 and *Streptomyces* sp. 3 Colonize the root system of sugar beet. The study was conducted by growing plants in semi-liquid (0.7%) starved agar inoculated with these bacterial strains. It has been shown that these microorganisms can take root and develop in the rhizosphere due to root exudates, which confirms their phytoprotective and growth-stimulating properties. The authors analyze the influence of environmental factors on the colonization process, as well as assess the degree of influence of the studied bacteria on the beneficial soil microflora. It was revealed that the introduced microorganisms do not have an inhibitory effect on the main ecological and trophic groups of the microbiota involved in ensuring soil fertility. It has been established that the colonization process depends on a number of factors, including the composition of root secretions, the ability of bacteria to adhere, the rate of their reproduction and survival in the rhizosphere. The method of assessing the colonizing ability, based on growing plants in semi-liquid starved agar, has shown its effectiveness and allows for rapid primary diagnosis of promising strains of rhizobacteria. It has been experimentally proven that in the presence of root exudates of *Agrobacterium tumefaciens* 184 and *Streptomyces* sp. 3 actively form microcolonies on the root surface of sugar beet, starting from 2–5 days after inoculation. The development of bacterial colonies increases by the 14th day, with the highest density observed in the area of the root apex. The results obtained emphasize the prospects of using these strains in agricultural technologies aimed at increasing the resistance of sugar beet to phytopathogens and improving its growth. An important conclusion is the absence of negative effects of rhizobacteria on the natural microflora of the soil, which confirms the possibility of their use as biological products in agriculture.

**Keywords:** rhizobacteria, sugar beet, colonizing ability, *Agrobacterium tumefaciens* 184, *Streptomyces* sp. 3.

Для цитирования

Безлер Н.В., Федорова О.А., Санеева Ю.Н., Цомае В.Д. Исследование способности культур ризобактерий колонизировать корневую систему сахарной свеклы // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 85. № 4. С. 136–141. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-136-141

For citation

Bezler N.V., Fedorova O.A., Saneeva Y.N., Tsomaya V.D. Study of the ability of cultures of rhizobacteria to colonize the root system of sugar beet. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 85. no. 4. pp. 136–141. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-136-141

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Микроорганизмы в почве входят в состав сложного биоценоза и оказывают друг на друга и на высшие растения стимулирующее или угнетающее действие [1, 2]. В последние годы существенно выросло число исследований, посвященных ризобактериям, являющиеся неисчерпаемым источником новых биологически активных веществ, которые могут быть использованы в производстве средств защиты растений и продуктов сельского хозяйства, лекарственных препаратов для животных и человека [3]. Успех интродукции агроэкосистему микробных препаратов на основе ризобактерий в значительной степени будет определяться способностью микроорганизмов колонизировать ризосферу и ризоплану растений [4]. В этой связи весьма актуальным направлением исследований является углубленное изучение процесса колонизации бактериями прикорневой зоны растений и приживаемости их там. Разработаны эффективные приемы селекции активных колонизаторов ризосферы, учитывающие реальные условия с комплексом биотических и абиотических факторов среды [5]. Установлено, что интродукция ризобактерий примерно в ту экологическую нишу, из которой ее первоначально изолировали, повышает вероятность образования эффективной растительно-бактериальной ассоциации [6]. Данная работа посвящена анализу результатов по колонизации корневой системы сахарной свеклы на ранних стадиях ее развития культурами ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3.

## Материалы и методы

Объектами исследований служили культуры ризобактерий: *Agrobacterium tumefaciens* 184, выделенный из ризопланы ячменя, и *Streptomyces* sp. 3 – из ризосферы сахарной свеклы. Микроорганизм выращивали глубинным способом на питательной среде Эшби и Чапека в аэробных, стерильных условиях, при 25–28 °C в течение 5 суток. Использовали суспензию клеток для приготовления рабочего раствора, в котором концентрация клеток достигала 10<sup>8</sup> КОЕ/мл *Agrobacterium tumefaciens* 184 и 10<sup>5</sup> КОЕ/мл *Streptomyces* sp. Способность бактерий колонизировать поверхность корней сахарной свеклы исследовали на растениях диплоидного гибрида сахарной свеклы РМС127 по методикам, описанным в литературе [7, 8]. Пробики с проростками размещали на свету при температуре +25 °C и освещении 1000 люкс. Способность бактерий колонизировать прикорневую зону растений оценивали по образованию микроколоний бактерий у поверхности корня на 3–14-е сутки выращивания

проростков. На 15-е сутки у сеянцев отделяли корневую систему и исследовали наличие на ней бактерий в раздавленных микропрепаратах корней, окрашенных основным фуксином Циля.

Представители полезной почвенной микрофлоры, на которые установлено влияние ризобактерий: свободноживущие азотфиксаторы и диазотрофы (*Azotobacter chroococcum*, *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Agrobacterium* sp.), стимуляторы роста растений (*Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*), актиномицеты. Определение влияния биопрепарата на представителей полезной почвенной микрофлоры оценивали методом колодцев, описанным в руководстве [9]. Степень ингибирования роста культур микроорганизмов оценивали по диаметру зоны с отсутствием роста вокруг колодцев.

## Результаты и обсуждение

С целью оценки способности культур ризобактерий колонизировать корневую систему сахарной свеклы было исследовано несколько методик. По одной [7], семена предварительно замачивали в суспензии исследуемых культур ризобактерий в течение 3–5 часов, а потом переносили в агрономических пробирках длиной, которые заливали питательной агаризованной средой следующего состава (г/л): K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O – 0,1; MgSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O – 0,1; Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O – 0,15; CaCl<sub>2</sub> – 0,1; цитрат железа – 0,005; раствор микроэлементов – 1 мл; агар-агар – 7,5 г; вода дистиллированная – 1 л. Метод оказался неприемлем, поскольку наблюдалось угнетение прорастания семян в условиях минеральной питательной среды. Метод оценки колонизирующей способности в полумягком голодном агаре, предложенной Ржевской В.С. [8] оказался более подходящим для семян сахарной свеклы. Он дает возможность за относительно короткий период времени оценить способность исследуемых бактерий колонизировать корневую поверхность исследуемых растений. Проведенные нами более ранние исследования с культурами *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3 продемонстрировали стимулирующее влияние на рост, развитие проростков сахарной свеклы [10]. Кроме того, штамм *Streptomyces* sp. 3, проявляющий высокую антагонистическую активность в отношении широкого спектра фитопатогенных микроорганизмов, зарекомендовал себя как перспективный агент биоконтроля основных болезней сахарной свеклы.

В процессе роста и развития растения выделяют корневые экссудаты. Эти соединения служат основным источником питательных веществ, которые способствуют интенсивному развитию микроорганизмов в почве, непосредственно примыкающей к поверхности корня –

ризосфере [11]. Как показали наши исследования, культуры ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3 за счет корневых экссудатов сахарной свеклы способны колонизировать зону корней растения и приживаться в ней. В контрольном варианте (семена, высаженные в голодный агар без внесения микроорганизмов) в агаре, окружающем корни, рост колоний не наблюдался, все зоны корня просматривались отчетливо (рисунок 1). В опытном варианте на вторые сутки внесения в питательную среду *Agrobacterium tumefaciens* 184 и на пятые сутки при внесении *Streptomyces* sp. 3 вокруг корней растений образовывалось видимое облако колоний. Разница во времени проявления колоний между культурами связана с их физиологическими особенностями роста.

С увеличением времени культивирования до 14 суток интенсивность колонизации прикорневой зоны микроорганизмами возрастала, колонии становились крупнее. При этом в различных зонах корней интенсивность их колонизации неодинакова: наибольшая скорость образования колоний отмечена на верхушке корня, наименьшая – в зоне роста. Вероятно, это связано с тем, что рост клеток микроорганизмов происходит по градиенту кислорода – в толще агара из-за недостатка кислорода рост микроорганизмов, являющихся типичными аэробами, замедляется. Из-за высокой плотности облака колоний микроорганизмов вокруг корней опытных растений корневые волоски не просматривались (рисунок 2).



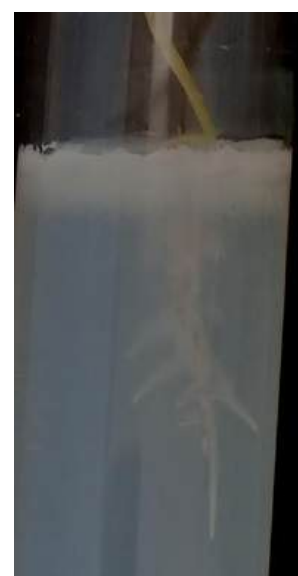
Рисунок 1. Колонизация штаммами ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184 (а) и *Streptomyces* sp. 3 (б) поверхности корней сахарной свеклы на 5 сутки выращивания

Figure 1. Colonization by rhizobacterial strains *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) and *Streptomyces* sp. 3 (b) surface of root sugar beet for 5 days of cultivation

После извлечения корня из системы выращивания он помещался в чашки Петри на агаризованные среды Эшби и Чапека. Дальнейшее культивирование проводили в термостате при  $t\ 28^{\circ}$ . На рисунках 3 через 5 суток наблюдались выросшие характерные колонии микроорганизмов.



(a)



(b)

Рисунок 2. Колонизация корневой системы сахарной свеклы *Agrobacterium tumefaciens* 184 (а) и *Streptomyces* sp. 3 (б) через 14 дней культивирования

Figure 2. Colonization of the sugar beet root system by *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) and *Streptomyces* sp. 3 (b) after 14 days of cultivation



(a)



(b)

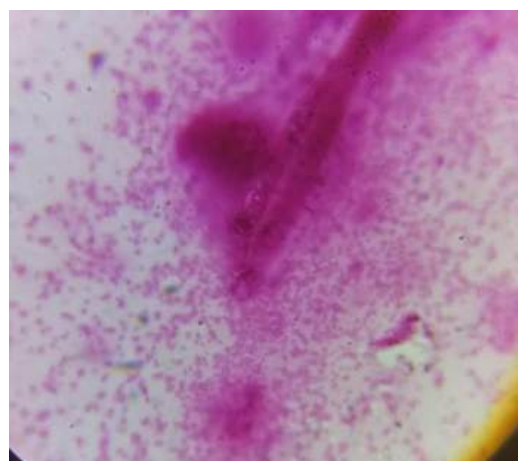
Рисунок 3. Развитие *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) и *Streptomyces* sp. 3 (b) на корневой системе сахарной свеклы  
Figure 3. Development of *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) and *Streptomyces* sp. 3 (b) on the root system of sugar beet

Однородные колонии расположены равномерно по всей длине корешков сахарной свеклы. Последующее микропирование раздавленных корней при помощи фиксированных

окрашенных препаратов подтвердило, что по всей длине корней были обнаружены исходные клетки *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) и *Streptomyces* sp. 3 (b).



(a)



(b)

Рисунок 4. Раздавленный препарат корней на 14-е сутки культивирования (увеличение 1000) *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) и *Streptomyces* sp. 3 (b)

Figure 4. Crushed root preparation on the 14th day of cultivation (magnification 1000) *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) and *Streptomyces* sp. 3 (b)

Таким образом, можно говорить о том, что клетки ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3, внесенные в среду, при прорастании семян развиваются вместе с корневой системой, по всей видимости, покрывая ее. Поскольку среда для культивирования не содержит никаких источников углерода и энергии, это может происходить только за счет выделений, образующихся при прорастании семян. Согласно литературным данным, экссудаты корней растений состоят из сложной смеси органических веществ: анионов кислот, сахаров, аминокислот, витаминов, пуринов, нуклеозидов, неорганических ионов, газообразных соединений, ферментов, фенольных соединений. Именно они и будут в значительной степени определять интеграцию микроорганизмов с растением и дальнейшее совместное их функционирование [12, 15-16].

Процесс колонизации клетками ризобактерий зависит от многих факторов, в частности,

от способности бактерий утилизировать основные компоненты корневых выделений; адгезии бактерий поверхностью корней; скорости размножения бактерий; выживаемости в ризосфере, для которой могут быть необходимы устойчивость к токсичным соединениям растений, осмо- и холодоустойчивость; взаимодействия с аборигенной микрофлорой, как благоприятные для интродукта, так и негативные. При этом важно учитывать, что вносимые в агроценоз ризобактерии должны проявлять свою активность и воздействовать на экосистему в условиях отсутствия абсолютного доминирования [13,17-18]. В настоящее время, в литературе имеются сведения о том, что в почвах, где развиваются антагонисты, представители полезной почвенной микрофлоры развиваются слабее или вовсе не развиваются [14, 19-20]. Изучено действие штаммов ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184

и *Streptomyces* sp. 3 на свободноживущие азотфиксаторы и диазотрофы, участвующие в фиксации атмосферного азота (*Azotobacter chroococcum*, *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Agrobacterium* sp.), стимуляторы роста растений (*Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*), актиномицеты. Отсутствие зон ингибирования роста и развития изучаемых групп микроорганизмов свидетельствует о том, что изучаемые культуры не оказывали негативного воздействия на баланс основных эколого-трофических групп микробиоты, участвующей в обеспечении почвенного плодородия сахарной свеклы.

## Заключение

Использование метода выращивания растений сахарной свеклы в 0,7% полумягком голодном агаре, инокулированного ризобактериями *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3, позволило дать первичную оценку колонизирующей способности культур, а также показать перспективность их использования в посевах сахарной свеклы. Установлено, что изучаемые ризобактерии не оказывают негативного влияния на представителей полезной почвенной микрофлоры, что важно при внесении их в агроценоз в качестве биопрепаратов.

## Литература

- 1 Нетрусов, А. И., Бонч-Осмоловская, Е. А., Горленко, В. М., Иванов, М. В. и др. Экология микроорганизмов. 2016. 267 с.
- 2 Giller P. Community structure and the niche. Springer Science & Business Media. 2012. 184 p.
- 3 Феоктистова, А.М. Марданова, М.Р. Хадиева, Н.В. Шарипова. Ризосферные бактерии. Ученые записки казанского университета. Серия естественные науки. 2016. Т. 158. С. 207–224.
- 4 Шапошников А.И., Белимов А.А., Кравченко Л.В., Виванко Д.М. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 16–22.
- 5 Беззубенкова О.Е., Юхлимова М.Н., Нестерова Н.И. Микрофлора ризосферы и ризопланы и её влияние на растительный организм. Естественные и технические науки. 2012. Т. 4. С. 99–102.
- 6 Tate III R. L. Soil microbiology. John Wiley & Sons. 2020.
- 7 Федорова О.А., Ходжибаева С.М. Приживаемость микроорганизмов-антагонистов *Verticillium dahliae* в ризосфере растений хлопчатника. Доклады Академии Наук Республики Узбекистан. 2010. № 4. С. 89–95.
- 8 Ржевская В.С., Теплицкая Л.М., Отурина И.П. Колонизация ризопланы корней огурцов микроорганизмами, входящими в состав микробного препарата «Эмбио». Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2013. Т. 2. № 4. С. 63-70.
- 9 Bottomley P. J., Angle J. S., Weaver R. W. Methods of soil analysis, Part 2: Microbiological and biochemical properties. John Wiley & Sons. 2020. V. 12.
- 10 Федорова О.А., Безлер Н.В. Антифунгальный потенциал актиномицетов из ризосферы сахарной свеклы. Сахарная свекла. 2021. № 4. С. 29–32.
- 11 Ларикова Ю.С., Волобуева О.Г. Современные представления об эколого-физиологической роли корневых экссудатов растений (обзорная статья). Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. №4 (40). С. 93-101. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-93-101
- 12 Шапошников А.И. Белимов А.А., Кравченко Л.В., Виванко Д.М. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов (обзор). Биология. 2011. № 3. С. 16–22.
- 13 Akram M. S., Shahid M., Tahir M., Mehmood F. Plant-microbe interactions: current perspectives of mechanisms behind symbiotic and pathogenic associations. Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives. 2017. V. 1. P. 97-126.
- 14 Минаева, О.М., Акимов Е.Е., Евдокимов Е.В. Кинетические аспекты ингибирования роста фитопатогенных грибов ризосферными бактериями. Прикладная биохимия и микробиология. 2008. № 5. С. 565–570.
- 15 Wheatley R. M., Ford, B. L., Li, L., Aroney, S. T. et al. Lifestyle adaptations of Rhizobium from rhizosphere to symbiosis //Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. V. 117. № 38. P. 23823-23834.
- 16 Han Q., Ma, Q., Chen, Y., Tian, B. et al. Variation in rhizosphere microbial communities and its association with the symbiotic efficiency of rhizobia in soybean //The ISME journal. 2020. V. 14. № 8. P. 1915-1928.
- 17 Choudhary D. K., Varma A., Tuteja N. Plant-microbe interaction: an approach to sustainable agriculture. Springer. 2016. P. 1-509.
- 18 Santoyo G., Urtis-Flores C. A., Loeza-Lara P. D., Orozco-Mosqueda M. D. C. et al. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) //Biology. 2021. V. 10. № 6. P. 475.
- 19 Liu Y., Xu, Z., Chen, L., Xun, W. et al. Root colonization by beneficial rhizobacteria //FEMS Microbiology Reviews. 2024. V. 48. № 1. P. 60-66.
- 20 Bhat M. A., Mishra A. K., Jan S., Kamal, M. A. et al. Plant growth promoting rhizobacteria in plant health: a perspective study of the underground interaction //Plants. 2023. V. 12. № 3. P. 629.

## References

- 1 Netrusov, A. I., Bonch-Osmolovskaya, E. A., Gorlenko, V. M., Ivanov, M. V. and others. Ecology of microorganisms. 2016. 267 p. (in Russian).
- 2 Giller P. Community structure and the niche. Springer Science & Business Media. 2012. 184 p.
- 3 Feoktistova, A.M. Mardanova, M.R. Khadieva, N.V. Sharipova. Rhizospheric bacteria. Scientific notes of Kazan University. The Natural sciences series. 2016. Vol. 158. pp. 207-224. (in Russian).

- 4 Shaposhnikov A.I., Belimov A.A., Kravchenko L.V., Vivanko D.M. Interaction of rhizospheric bacteria with plants: mechanisms of formation and factors of effectiveness of associative symbioses (review). *Agricultural biology*. 2011. no. 3. pp. 16-22. (in Russian).
- 5 Bezzubenkova O.E., Yukhlomova M.N., Nesterova N.I. Microflora of the rhizosphere and rhizoplanes and its effect on the plant organism. *Natural and technical sciences*. 2012. Vol. 4. pp. 99-102. (in Russian).
- 6 Tate III R. L. *Soil microbiology*. John Wiley & Sons. 2020.
- 7 Fedorova, O.A., Khodzhibaeva, S.M. Survival of *Verticillium dahliae* antagonist microorganisms in the rhizosphere of cotton plants. *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*. 2010. no. 4. pp. 89-95. (in Russian).
- 8 Rzhetskaya, V.S., Teplitskaya, L.M., Oturina, I.P. Colonization of cucumber root rhizoplanes by microorganisms included in the microbial preparation Embiko. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2013. Vol. 2. no. 4. pp. 63-70. (in Russian).
- 9 Bottomley P. J., Angle J. S., Weaver R. W. (ed.). *Methods of soil analysis, Part 2: Microbiological and biochemical properties*. John Wiley & Sons, 2020. Vol. 12.
- 10 Fedorova O.A., Bezler N.V. Antifungal potential of actinomycetes from the rhizosphere of sugar beet. *Sugar beet*. 2021. no. 4. pp. 29-32. (in Russian).
- 11 Larikova Y.S., Volobueva O.G. Modern ideas about the ecological and physiological role of root exudates of plants (review article). *Leguminous and cereal crops*. 2021. №4 (40). pp. 93-101. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-93-101 (in Russian).
- 12 Shaposhnikov, A.I. Belimov, A.A., Kravchenko, L.V., Vivanko, D.M. Interaction of rhizospheric bacteria with plants: mechanisms of formation and factors of effectiveness of associative symbioses (review). *Biology*. 2011. no. 3. pp. 16-22. (in Russian).
- 13 Akram M. S., Shahid M., Tahir M., Mehmood F. Plant-microbe interactions: current perspectives of mechanisms behind symbiotic and pathogenic associations. *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives*. 2017. Vol. 1. pp. 97-126.
- 14 Minaeva, O.M., Akimova E.E., Evdokimov E.V. Kinetic aspects of inhibition of the growth of phytopathogenic fungi by rhizospheric bacteria. *Applied Biochemistry and microbiology*. 2008. no. 5. pp. 565-570. (in Russian).
- 15 Wheatley R. M., Ford, B. L., Li, L., Aroney, S. T. et al. Lifestyle adaptations of *Rhizobium* from rhizosphere to symbiosis // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020. Vol. 117. no. 38. pp. 23823-23834.
- 16 Han Q., Ma, Q., Chen, Y., Tian, B. et al. Variation in rhizosphere microbial communities and its association with the symbiotic efficiency of rhizobia in soybean // *The ISME journal*. 2020. Vol. 14. no. 8. pp. 1915-1928.
- 17 Choudhary D. K., Varma A., Tuteja N. *Plant-microbe interaction: an approach to sustainable agriculture*. Springer. 2016. pp. 1-509.
- 18 Santoyo G., Urtis-Flores C. A., Loeza-Lara P. D., Orozco-Mosqueda M. D. C et al. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) // *Biology*. 2021. Vol. 10. no. 6. pp. 475.
- 19 Liu Y., Xu, Z., Chen, L., Xun, W. et al. Root colonization by beneficial rhizobacteria // *FEMS Microbiology Reviews*. 2024. Vol. 48. no. 1. pp. 60-66.
- 20 Bhat M. A., Mishra A. K., Jan S., Kamal, M. A. et al. Plant growth promoting rhizobacteria in plant health: a perspective study of the underground interaction // *Plants*. 2023. Vol. 12. no. 3. pp. 629.

#### Сведения об авторах

**Надежда В. Безлер** д.с-х.н, ведущий научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, bezler@list.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-9371-9564>  
**Ольга А. Федорова** к.б.н., старший научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, fed-olga78@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-7581-6141>  
**Юлия Н. Санеева** магистр, младший научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, usaneeva69@gmail.com

**Валерий Д. Цома** магистр, младший научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, valera-comaya@ya.ru

#### Information about authors

**Nadezhda V. Bezler** Dr. Sci. (Agric.), leading researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, bezler@list.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-9371-9564>  
**Olga A. Fedorova** Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, fed-olga78@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-7581-6141>  
**Julia N. Saneeva** Cand. Sci. (Econ.), engineer, junior researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, usaneeva69@gmail.com

**Valeriy D. Tsomaia** master, junior researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, valera-comaya@ya.ru

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 21/10/2024 | После редакции 11/11/2024      | Принята в печать 26/11/2024 |
| Received 21/10/2024  | Accepted in revised 11/11/2024 | Accepted 26/11/2024         |

## Изучение процесса изготовления ржано-пшеничного и пшенично-ржаного хлеба из цельнозерновой муки

|                     |              |                                                                                |                                                                                                         |
|---------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Наталья А. Шмалько  | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kafedra-tith@ya.ru">kafedra-tith@ya.ru</a>                     |  0000-0002-8939-0265 |
| Стелла В. Демченко  | <sup>1</sup> | <a href="mailto:stellid@ya.ru">stellid@ya.ru</a>                               |                                                                                                         |
| Лидия А. Кудрявцева | <sup>1</sup> | <a href="mailto:lida.kudryavtseva.02@mail.ru">lida.kudryavtseva.02@mail.ru</a> |                                                                                                         |
| Игорь А. Никитин    | <sup>2</sup> | <a href="mailto:nikito.igor@gmail.com">nikito.igor@gmail.com</a>               |  0000-0002-8988-5911 |
| Елена Ю. Бобкова    | <sup>3</sup> | <a href="mailto:edu@vica3.ru">edu@vica3.ru</a>                                 |  0000-0002-8934-1842 |
| Наталья В. Батищева | <sup>3</sup> | <a href="mailto:n.batischeva@inbox.ru">n.batischeva@inbox.ru</a>               |                                                                                                         |

<sup>1</sup> Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия

<sup>2</sup> Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 115054, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия

**Аннотация.** В данной статье рассматривается процесс изготовления ржано-пшеничного и пшенично-ржаного хлеба из цельнозерновой муки, произведённой из зерна озимой ржи сорта "Саратовская 7" и яровой мягкой пшеницы сорта "Тулайковская 10". В работе представлены детальные характеристики качества исходного зерна и полученной муки, а также проанализированы особенности теста, приготовленного из их смеси. Рассматриваются состав микроорганизмов, участвующих в брожении, и их влияние на процесс ферментации теста. Изучены различные способы приготовления теста, включая традиционные и инновационные подходы, направленные на улучшение качества конечного продукта. Разработаны рецептуры и параметры производства хлеба, включающие методы разведения и производства ржаной жидкой закваски, полученной из стартера спонтанного брожения. Представлены сравнительные характеристики качества готового хлеба, исследованные в соответствии с требованиями ГОСТ, а также приведены экспериментальные данные, подтверждающие эффективность разработанных методов. В ходе исследования были изучены физико-химические и органолептические характеристики хлебобулочных изделий, включая их кислотность, влажность, пористость и вкусовые свойства. Особое внимание уделено процессу культивирования жидкой ржаной закваски с заваркой и без неё. Рассмотрено влияние различных технологических параметров на итоговое качество хлеба, включая пропорции ржаной и пшеничной муки в тесте. Установлено, что оптимальное содержание ржаной муки в ржано-пшеничном хлебе составляет 40–60%, а в пшенично-ржаном – 50–70%. Данные пропорции позволяют достичь сбалансированного вкуса, оптимальной кислотности и хорошей текстуры мякиша. Предложенные рекомендации включают оптимизацию состава теста, контроль уровня кислотности и выбор подходящего режима брожения. В результате исследования разработаны технологические режимы, обеспечивающие стабильное качество ржано-пшеничного и пшенично-ржаного хлеба. Сделан вывод о целесообразности дальнейшего изучения различных методов приготовления теста с целью совершенствования производства цельнозернового хлеба.

**Ключевые слова:** озимая рожь «Саратовская 7», яровая мягкая пшеница «Тулайковская 10», цельнозерновая мука, ржаная жидкая закваска, ржано-пшеничный, пшенично-ржаной хлеб.

## Study of the process of making rye-wheat and wheat-rye bread from whole grain flour

|                        |              |                                                                                |                                                                                                           |
|------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Natalya A. Shmal'ko    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kafedra-tith@ya.ru">kafedra-tith@ya.ru</a>                     |  0000-0002-8939-0265 |
| Stella V. Demchenko    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:stellid@ya.ru">stellid@ya.ru</a>                               |                                                                                                           |
| Lidiya A. Kudryavtseva | <sup>1</sup> | <a href="mailto:lida.kudryavtseva.02@mail.ru">lida.kudryavtseva.02@mail.ru</a> |                                                                                                           |
| Igor A. Nikitin        | <sup>2</sup> | <a href="mailto:nikito.igor@gmail.com">nikito.igor@gmail.com</a>               |  0000-0002-8988-5911 |
| Elena YU. Bobkova      | <sup>3</sup> | <a href="mailto:edu@vica3.ru">edu@vica3.ru</a>                                 |  0000-0002-8934-1842 |
| Natalia V. Batischeva  | <sup>3</sup> | <a href="mailto:n.batischeva@inbox.ru">n.batischeva@inbox.ru</a>               |                                                                                                           |

<sup>1</sup> Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia

<sup>2</sup> Plekhanov Russian University Of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 115054, Russia

<sup>3</sup> K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

### Для цитирования

Шмалько Н.А., Демченко С.В., Кудрявцева Л.А., Никитин И.А., Бобкова Е.Ю., Батищева Н.В. Изучение процесса изготовления ржано-пшеничного и пшенично-ржаного хлеба из цельнозерновой муки // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 142–154. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-142-154

### For citation

Shmal'ko N.A., Demchenko S.V., Kudryavtseva L.A., Nikitin I.A., Bobkova E.YU., Batischeva N.V. Study of the process of making rye-wheat and wheat-rye bread from whole grain flour. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 142–154. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-142-154

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

**Abstract.** This article discusses the process of making rye-wheat and wheat-rye bread from wholemeal flour made from winter rye grain of the "Saratovskaya 7" variety and spring soft wheat of the "Tulaykovskaya 10" variety. The paper presents detailed characteristics of the quality of the initial grain and the resulting flour, as well as analyzes the features of the dough made from their mixture. The composition of microorganisms involved in fermentation and their effect on the fermentation process of the dough are considered. Various methods of dough preparation have been studied, including traditional and innovative approaches aimed at improving the quality of the final product. Formulations and parameters of bread production have been developed, including methods of dilution and production of rye liquid starter obtained from a spontaneous fermentation starter. Comparative characteristics of the quality of the finished bread, studied in accordance with the requirements of GOST, are presented, as well as experimental data confirming the effectiveness of the developed methods. The study examined the physico-chemical and organoleptic characteristics of bakery products, including their acidity, moisture, porosity and taste properties. Special attention is paid to the process of cultivating liquid rye sourdough with and without brewing. The influence of various technological parameters on the final quality of bread, including the proportions of rye and wheat flour in the dough, is considered. It has been established that the optimal rye flour content in rye-wheat bread is 40-60%, and in wheat-rye bread – 50-70%. These proportions make it possible to achieve a balanced taste, optimal acidity and a good crumb texture. The suggested recommendations include optimizing the composition of the dough, controlling the level of acidity and choosing the appropriate fermentation mode. As a result of the research, technological modes have been developed to ensure stable quality of rye-wheat and wheat-rye bread. It is concluded that it is advisable to further study various methods of dough preparation in order to improve the production of whole-grain bread.

**Keywords:** winter rye "Saratovskaya 7", spring soft wheat "Tulaykovskaya 10", whole grain flour, rye liquid sourdough, rye-wheat, wheat-rye bread.

### Введение

В последние годы в общем объеме вырабатываемого в России хлеба значительную часть (до 40–45%) представляют виды хлебопекарной продукции из смеси ржаной и пшеничной муки. Производство смесей ржаной и пшеничной муки осуществляется непосредственно на мукомольных заводах путем проведения обойных помолов ржано-пшеничной смеси (60% ржи и 40% пшеницы) с общим выходом муки 95% и пшенично-ржаной (70% пшеницы и 30% ржи) с общим выходом 96% [1].

В частной технологии муки предложен способ производства ржано-пшеничной хлебопекарной муки, предусматривающий составление помольной смеси из зерна ржи и пшеницы при соотношении 40:60–60:40 мас.% с числом падения не менее 180 с, очистку смеси от примесей, ее увлажнение и отволаживание в течение 6,0–8,0 часов. Размол смеси осуществляют на вальцовых станках драных и размольных систем, используя четыре драные и три размольные системы. Для приготовления помольной смеси используют пшеницу с содержанием клейковины не менее 22%, выход готового продукта – не менее 82%. Мука ржано-пшеничная, полученная описанным способом, отличается белизной не менее 18,0 ед., числом падения не менее 200 с., влажностью не более 15%, сходом с сита 045 не более 1,0% и проходом через сито 41/43 не менее 70%. Указанный способ обеспечивает возможность использования исходного зерна ржи и пшеницы различного класса для получения ржано-пшеничной муки высокого качества [2].

Разработан национальный стандарт – ГОСТ 12183–2018 «Мука ржано-пшеничная и пшенично-ржаная обойная» [3] (введ. 01.09.2019),

распространяемый на ржано-пшеничную и пшенично-ржаную обойную хлебопекарную муку, получаемую в результате размола смеси зерна в следующих соотношениях: ржи 60%, пшеницы 40% – для ржано-пшеничного помола; пшеницы 70%, ржи 30% – для пшенично-ржаного помола (допускаемое отклонение для всех видов муки  $\pm 5\%$ ).

К сожалению, данный стандарт малоинформативен в отношении наличия показателей качества муки из смеси зерна ржи и пшеницы, определяющих ее хлебопекарные свойства, перечисляя только органолептические характеристики (цвет, вкус, запах, наличие минеральной примеси, обнаружение металломагнитной примеси), значения показателей влажности, зольности и крупности помола, что не позволяет прогнозировать качество хлебопекарной продукции при переработке такого сырья.

Поскольку качество хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки в большей степени определяется состоянием углеводно-амилазного комплекса муки, а не количеством и качеством в ней клейковины, то основным показателем качества муки из ржано-пшеничных смесей необходимо считать число падения, которое должно составлять не менее 150 с [1].

С целью регулирования числа падения ржано-пшеничных мучных смесей осуществляется подсортировка проросшего зерна в помольные зерносмеси ржи и пшеницы при постоянном соотношении 60:40 с добавлением проросших зерен в количестве 3, 5 и 8%. Подсортировка проросших зерен при получении смесей незначительно увеличивает зольность, титруемую кислотность и приводит к небольшому снижению показателя белизны и числа падения муки, повышает скорость газообразования в тесте, улучшает пористость и окраску корок хлеба.

Органолептическая оценка опытных проб не зафиксировала дефектов качества образцов хлеба из ржано-пшеничных мучных смесей. Лучшими были признаны образцы хлеба из муки зерносмеси с содержанием 5% проросшей ржи и 3% проросшей пшеницы [4].

Изучение технологических аспектов формирования качества хлеба при переработке муки из проросшего зерна пшеницы [5] с использованием модельных опытов по проращиванию различных сортов позволило оценить полученные из них образцы муки на пригодность использования в хлебопечении. Сравнительное исследование мякиша хлеба, выпеченного из нативного и проросшего зерна, показало закономерное увеличение содержания водорастворимых веществ мякиша по мере повышения температуры проращивания (при 15 °C и 30 °C). Результаты модельных опытов позволили определить взаимосвязь между изменениями свойств клейковины и хлебопекарных свойств муки от условий проращивания и исходных кондиций зерна. Гидролиз белковых веществ при проращивании зерна с чрезмерно крепкой по силе клейковиной оказывает положительное влияние на хлебопекарные свойства пшеничной муки и качество выпеченного хлеба, несмотря на высокий уровень активности альфа-амилазы. В противном случае изменение свойств слабой клейковины в ходе проращивания зерна приводит к заметному необратимому ухудшению качества хлеба. Во всех рассматриваемых случаях, гидролиз крахмала под действием альфа-амилазы обуславливает накопление в хлебе водорастворимых веществ, что приводит к получению дефектного, липкого и заминающегося мякиша, типичного для изделия, полученного из муки проросшего зерна. Отсюда следует, что технологические аспекты формирования качества хлеба из муки проросшего зерна пшеницы должны основываться не только на результатах стандартной оценки качества хлебопекарных свойств муки и выпеченного хлеба с целью определения типичных дефектов готовой продукции, но и на результатах обнаружения уровня активности альфа-амилазы, обеспечивающей специфическое повреждение структуры мякиша хлебобулочных изделий.

По данной научной проблеме имеется ряд известных работ [6–10], в которых хронологическом порядке доказываются практическая значимость использования муки из смеси зерна ржи и пшеницы в хлебопечении и питании человека. В основе предложенных технологических решений приготовления хлеба из ржаной и пшеничной обойной муки лежат принципы интенсификации процесса производства хлеба для реализации реологической модели тестового полуфабриката, готового к разделке после кратковременного брожения, целью которого служит не разрыхление продуктами микроорганизмов порции теста и накопление в ней необходимых

вкусоароматических веществ, а набухание частиц сырья и распределение между ними различных форм влаги при замесе. В таких способах зачастую применяются подкислители искусственного происхождения (различные органические кислоты и их композиции в сухом или жидком виде), применяемые для мгновенного прироста показателя кислотности в тесте, что может быть избыточным для вкусового восприятия продукции.

Кроме того, такой подход малопродуктивен при общей направленности этапа сбраживания бродильного полуфабриката в сторону закономерного повышения суммарной кислотности и концентрации водородных ионов до достижения состояния готовности полуфабриката к разделке, расстойке и выпечке [11]. Суммарная кислотность и концентрация водородных ионов в большей степени повышается при созревании закваски за счет увеличения содержания молочной и летучих кислот.

Однако именно от состава и соотношения органических кислот в закваске и тесте в значительной мере зависит вкус хлеба, становящийся резко кислым даже при нормальном уровне титруемой кислотности, если доля летучих кислот составляет более 30% общего содержания кислот ржаного хлеба [1]. При переработке смеси ржаной и пшеничной муки увеличение дозы пшеничной муки снижает интенсивность аромата смешанного хлеба, и ее заквашивание придает специфический неприятный вкус. При производстве пшенично-ржаного хлеба без ухудшения вкусовых свойств изделий допускается заквашивание только до 10% пшеничной муки.

Для получения ржано-пшеничного и пшенично-ржаного хлеба с хорошими вкусовыми свойствами целесообразно увеличивать долю ржаной муки (в% к общему ее количеству в тесте), вносимой в закваску. Доля ржаной муки должна быть при приготовлении ржано-пшеничного хлеба – 40–60% и пшенично-ржаного – 50–70%. Следствием высокой доли пшеничной муки в пшенично-ржаном хлебе является образование пресного вкуса, что компенсируется приготовлением теста при пониженной температуре (25–26 °C) и с более жидкой консистенцией, длительность брожения которого не должна превышать 40 мин. Чтобы выявить преимущество аромата хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки по сравнению с чисто ржаным хлебом необходимо ощутить разницу во вкусе обоих сортов изделий. В связи с этим, дегустационной проверке подверглось утверждение, что увеличение дозировки пшеничной муки не приводит к непрерывному изменению вкуса хлеба.

В таблице 1 представлены результаты сенсорной оценки аромата хлеба методом треугольника, которые были проведены с пробами мякиша изделий из ржаной и смеси ржаной и пшеничной муки, приготовленных в одинаковых условиях.

Таблица 1.

Сенсорно воспринимаемая разница между ржаным хлебом и хлебом из смеси ржаной и пшеничной муки (при сравнении аромата мякиша двух образцов хлеба методом треугольника)

Table 1.

Sensorially perceived difference between rye bread and bread made from a mixture of rye and wheat flour (when comparing the flavor of the crumb of two bread samples using the triangle method)

| Образец 2   Sample 2                                   | Образец 1   Sample 1                                      |    |    |    |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----|----|----|
| Доля пшеничной муки, %<br>Proportion of wheat flour, % | Доля пшеничной муки, %   The proportion of wheat flour, % |    |    |    |
| 0                                                      | 0                                                         | 20 | 40 | 60 |
| 0                                                      | —                                                         | —  | +  | +  |
| 20                                                     | —                                                         | —  | +  | +  |
| 40                                                     | +                                                         | +  | —  | —  |
| 60                                                     | +                                                         | +  | —  | —  |

Знак «+» означает заметную разницу, знак «—» — отсутствие разницы.

The "+" sign means a noticeable difference, the "—" sign means no difference.

Данные таблицы 1 показывают отсутствие значительной разницы в аромате между пробами чисто ржаного хлеба и хлебом с добавлением 20% пшеничной муки, а также между пробами хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки 40 и 60%. Наибольшая разница в аромате обнаружена в пробах хлеба с добавлением 80 и 60% ржаной муки и в пробах хлеба с добавлением 20 и 40% пшеничной муки. Сенсорно определяемым компонентом в мякише хлеба является фурфурол, а не общее количество карбонильных соединений, что выявлено опытным путем для указанных соотношений муки в хлебе. Отсюда рекомендовано внедрять в производство сорта хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки с ощутимой разницей во вкусе [12].

Традиционно приготовление теста для производства хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки осуществляется на жидкой закваске по унифицированной ленинградской схеме. Жидкая закваска может готовиться двумя способами: с применением и без применения заварки.

Закваска без применения заварки готовится влажностью 69–75%, титруемой кислотностью 9–13 град (в зависимости от сорта муки), подъемной силы по шарикку до 35 мин. В разводочном цикле жидкую закваску готовят с применением чистых культур дрожжей *S. cerevisiae* Л-1 и *S. minor* «Чернореченский» в сочетании со смесью жидких культур *L. plantarum*-30, *L. casei*-26, *L. brevis*-1, *L. fermenti*-34 или сухого лактобактерина для жидких хлебных заквасок из смеси этих штаммов молочнокислых бактерий [1].

В производственном цикле жидкую закваску влажностью 69–75% без заварки освежают до достижения кислотности 9–13 град через 3–5 ч (в зависимости от влажности закваски, сорта и качества муки) путем отбора 50% спелой закваски из бродильного в расходный чан и далее на замес теста и добавления в бродильный чан к оставшейся массе эквивалентного количества питательной смеси из муки и воды для воспроизводства закваски (таблица 2).

Таблица 2.

Рецептура и режим приготовления жидкой закваски без заварки в производственном цикле

Table 2.

Formulation and mode of preparation of liquid sourdough without welding in the production cycle

| Наименование сырья, полуфабрикатов и показателей процесса<br>The name of raw materials, semi-finished products and process indicators | Расход сырья и технологические параметры<br>Raw material consumption and technological parameters |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Закваска прежнего приготовления, кг   Sourdough of the previous preparation, kg                                                       | 153                                                                                               |
| Количество муки, вносимой с закваской, кг   Amount of flour with the sourdough, kg                                                    | 50                                                                                                |
| Питательная смесь из муки и воды, кг   Nutritious mixture of flour and water, kg                                                      | 153                                                                                               |
| Масса закваски, кг   Sourdough weight, kg                                                                                             | 306                                                                                               |
| Количество муки в закваске, кг   The amount of flour in the sourdough, kg                                                             | 100                                                                                               |
| Влажность, %   Moisture, %                                                                                                            | 69–75                                                                                             |
| Температура начальная, °C   Initial temperature, °C                                                                                   | 28–30                                                                                             |
| Кислотность конечная, град:   Final acidity, deg:                                                                                     |                                                                                                   |
| из муки ржаной обойной   made of whole flour                                                                                          | 11–13                                                                                             |
| Продолжительность брожения, ч   Duration of fermentation, h                                                                           | 3–4                                                                                               |
| Подъемная сила, мин   Strength of the sourdough, min                                                                                  | 25–35                                                                                             |

Питательную смесь готовят в заварочной машине ХЗ-2М-300 или другом смесителе периодического или непрерывного действия без заваривания муки. Закваску выбраживают в чанах РЗ-ХЧД, цилиндрических ваннах для пастеризации молока или других емкостях из нержавеющей стали, преимущественно с мешалкой и водяной рубашкой. В 100 кг питательной смеси влажностью 70, 72 и 75% соотношение муки при влажности 14,5% и воды составляет соответственно 35:65, 34:66 и 29:71. Наилучшее качество закваски получается при влажности  $70 \pm 1\%$ .

При замесе теста с жидкой закваской с такой влажностью вносят 30–35% муки от общей массы ее на тесто с целью ускорения кислотонакопления в тесте и улучшения качества хлеба (таблица 3). При переработке муки с нормальной автолитической активностью влажность теста обычно устанавливают на 1% выше предельно-допустимой влажности хлеба. При производстве хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки тесто выбраживает до кислотности на 1–2 град выше верхнего предел стандартной кислотности вырабатываемого сорта хлеба.

Таблица 3.

Рецептура и режим приготовления теста на жидкой закваске без заварки

Table 3.

The recipe and the mode of preparation of the dough on sourdough without welding

| Наименование сырья, полуфабрикатов и показателей процесса<br>Name of raw materials, semi-finished products and process indicators | Расход сырья и параметры теста при внесении муки с закваской, %<br>Raw material consumption and dough parameters when applying flour with sourdough, % |        |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|
|                                                                                                                                   | 25                                                                                                                                                     | 30     | 35    |
| Жидкая закваска без заварки, кг   Liquid sourdough without welding, kg                                                            | 76                                                                                                                                                     | 92     | 105   |
| Мука, кг   Flour, kg                                                                                                              | 75                                                                                                                                                     | 70     | 65    |
| Вода, кг   Water, kg                                                                                                              | по расчету   by calculation                                                                                                                            |        |       |
| Соль, кг   Salt, kg                                                                                                               | according to the formulation                                                                                                                           |        |       |
| Другое сырье, кг   Other raw materials, kg                                                                                        | according to the formulation                                                                                                                           |        |       |
| Влажность, %, не более   Moisture, %, max                                                                                         | $W_{\text{хл}} + (0,5 - 1,0)$                                                                                                                          |        |       |
| Температура начальная, °C   Initial temperature, °C                                                                               | 29–31                                                                                                                                                  | 29–31  | 29–31 |
| Кислотность конечная, град:   Final acidity, deg:                                                                                 | зависит от сорта хлеба<br>depending on the type of bread                                                                                               |        |       |
| из смеси ржаной и пшеничной муки<br>made from a mixture of rye and wheat flour                                                    |                                                                                                                                                        |        |       |
| Продолжительность брожения, мин   Duration of fermentation, min                                                                   | 90–150                                                                                                                                                 | 90–120 | 60–90 |

Жидкая закваска с заваркой готовится по унифицированной ленинградской схеме и должна иметь влажность 80–85%, титруемую кислотность 9–12 град, подъемную силу методом шарика до 30 мин. Закваску освежают питательной смесью из муки и воды с добавлением 20–35% заварки к массе питательной смеси для стимуляции дрожжей. В разводочном цикле закваску готовят с применением чистой культуры дрожжей *S. cerevisiae* Л-1 в сочетании со смесью тех же жидких культур молочнокислых бактерий, что и при приготовлении закваски без заварки [1].

В производственном цикле жидкую закваску с заваркой освежают по достижении кислотности 9–12 град через 3–5 ч брожения (в зависимости от влажности) путем отбора 50% спелой закваски в расходный чан и далее использования ее на замес теста и добавления в бродильный чан к оставшейся массе закваски питательной смеси из муки, воды и заварки для воспроизводства закваски. Содержание заварки в питательной смеси предпочтительно 20 и 35% при влажности закваски соответственно 80 и 85% (таблица 4).

Таблица 4.

Рецептура и режим приготовления жидкой закваски с заваркой в производственном цикле

Table 4.

Formulation and mode of preparation of liquid sourdough with brewing in the production cycle

| Наименование сырья, полуфабрикатов и показателей процесса<br>Name of raw materials, semi-finished products and process indicators | Расход сырья и технологические параметры при влажности закваски, %<br>Consumption of raw materials and technological parameters at the moisture content of the sourdough, % |     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
|                                                                                                                                   | 80                                                                                                                                                                          | 82  | 85  |
| 1                                                                                                                                 | 2                                                                                                                                                                           | 3   | 4   |
| Закваска прежнего приготовления, кг<br>Sourdough of the previous preparation, kg                                                  | 214                                                                                                                                                                         | 237 | 285 |
| Количество муки, вносимой с закваской, кг<br>Amount of flour introduced with the sourdough, kg                                    | 50                                                                                                                                                                          | 50  | 50  |
| Заварка из муки и воды (1:2,5), кг   Brewing of flour and water (1:2.5), kg                                                       | 43                                                                                                                                                                          | 59  | 100 |
| Мука ржаная, кг   Rye flour, kg                                                                                                   | 38                                                                                                                                                                          | 33  | 22  |
| Вода, кг   Water, kg                                                                                                              | 133                                                                                                                                                                         | 145 | 163 |

## Продолжение таблицы 4 | Continuation of table 4

| 1                                                                     | 2     | 3     | 4     |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Масса закваски, кг   Sourdough weight, kg                             | 428   | 474   | 570   |
| Количество муки в закваске, кг   Amount of flour in the sourdough, kg | 100   | 100   | 100   |
| Влажность, %   Moisture, %                                            | 79–80 | 82–83 | 84–85 |
| Температура начальная, °C   Initial temperature, °C                   | 31–33 | 31–33 | 31–33 |
| Кислотность конечная, град   Final acidity, deg                       | 9–12  | 9–12  | 9–12  |
| Продолжительность брожения, ч   Duration of fermentation, h           | 3–5   | 3–5   | 3–5   |
| Подъемная сила, мин   Strength of the sourdough, min                  | 20–30 | 20–30 | 20–30 |

Приготовление заварки осуществляют в заварочной машине ХЗ-2М-300 или других аппаратах из ржаной муки и воды в соотношении 1:2,5 при заваривании кипящей водой или пропариванием. Начальная температура заварки должна быть  $65 \pm 2$  °C, при заваривании паром часть воды или всю воду можно заменить молочной сывороткой.

Для лучшего осахаривания в охлажденную до 40–45 °C заварку рекомендуется вносить ферменты амилалитического действия, например амилализин П10-Х или Г10-Х в количестве 0,005–0,01% к массе муки в заварке. Продолжительность осахаривания заварки колеблется от 40 до 90 мин. Питательную смесь из муки, воды и осахаренной заварки готовят в машине

ХЗ-2М-300 или другом смесителе периодического действия.

При приготовлении питательной смеси сначала смешивают муку с водой до получения однородной массы, а затем с охлажденной до 35–38 °C заваркой. В производственном цикле закваску выбраживают в чанах РЗ-ХЧД, цилиндрических ваннах для пастеризации молока или в других емкостях из нержавеющей стали, снабженных мешалкой и водяной рубашкой.

При замесе теста с жидкой закваской, содержащей заварку, вносят 15–20% от общей массы муки на тесто (таблица 5). Расчетную влажность теста устанавливают на предприятии пробными выпечками в зависимости от качества муки и сорта хлеба.

Таблица 5.

Рецептура и режим приготовления теста на жидкой закваске с заваркой

Table 5.

## Recipe and the mode of preparation of the dough on a liquid sourdough with welding

| Наименование сырья, полуфабрикатов и показателей процесса<br>Name of raw materials, semi-finished products and process indicators | Расход сырья и параметры теста при внесении муки с закваской, %   Raw material consumption and dough parameters when applying flour with sourdough, % |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|                                                                                                                                   | 15                                                                                                                                                    | 20     |
| Жидкая закваска с заваркой, кг   Liquid sourdough with welding, kg                                                                | 71                                                                                                                                                    | 95     |
| Мука, кг   Flour, kg                                                                                                              | 85                                                                                                                                                    | 80     |
| Вода, кг   Water, kg                                                                                                              | по расчету   by calculation                                                                                                                           |        |
| Соль, кг   Salt, kg                                                                                                               | according to the formulation                                                                                                                          |        |
| Другое сырье, кг   Other raw materials, kg                                                                                        | according to the formulation                                                                                                                          |        |
| Влажность, %, не более   Moisture, %, no more                                                                                     | $W_{\text{кл}} + (0,5 - 1,0)$                                                                                                                         |        |
| Температура начальная, °C   Initial temperature, °C                                                                               | 29–31                                                                                                                                                 | 29–31  |
| Кислотность конечная, град   Final acidity, deg                                                                                   | зависит от сорта хлеба   depending on the type of bread                                                                                               |        |
| Продолжительность брожения, мин   Duration of fermentation, min                                                                   | 120–180                                                                                                                                               | 90–150 |

**Цель работы** – изучение процесса изготовления ржано-пшеничного и пшенично-ржаного хлеба из цельнозерновой муки путем проведения теоретических и экспериментальных исследований.

**Материалы и методы**

Объекты исследований – зерно сорта озимой ржи «Саратовская 7», получаемая из него мука ржаная цельнозерновая жернового помола, зерно сорта мягкой яровой пшеницы «Тулайковская 10», получаемая из него мука пшеничная цельнозерновая жернового помола, закваска-стартер спонтанного брожения, культивируемая из нее закваска жидкая без заварки и с заваркой, тесто ржаное, хлеб ржано-пшеничный простой, хлеб пшенично-ржаной простой.

Выбор сортов зерна ржи и пшеницы обусловлен положительными результатами апробации в хлебопечении при изготовлении ремесленного хлеба на закваске спонтанного брожения из цельнозерновой муки [14], а также селекционными испытаниями зерна при размоле в ржаную муку с нормальной автолитической и амилалитической активностью [15] и пшеничную муку с высоким содержанием и качеством сырой клейковины [16].

В данном исследовании производили изучение стандартных показателей качества зерна ржи и пшеницы (таблица 6). Результаты свидетельствуют о принадлежности изучаемых проб зерна к первому классу качества, что подтверждает селекционные достижения сортов

озимой ржи «Саратовская 7» и мягкой яровой пшеницы «Тулайковская 10» в отношении наследования ценных хлебопекарных свойств [15, 16]. Сорная и зерновая примеси в зерне не обнаружены. Кроме того, для изучаемых проб зерна

(урожай 2023 года) на момент исследования была характерна свежесть, косвенно определяемая по титруемой кислотности согласно ГОСТ 10844–74: для зерна ржи – 4,0 град, для зерна пшеницы – 2,0 град.

Таблица 6.

Стандартные показатели качества зерна ржи и пшеницы

Table 6.

Standard indicators of rye and wheat grain quality

| Показатель<br>Indicator                                         | ГОСТ<br>GOST | Нормативное значение<br>Normative value                                                                                                                                                                           | Экспериментальное<br>значение<br>Experimental value |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Натура, г/л<br>Hectolitre weight, g/l                           | 10840–2017   | 1 класс – не менее 700 (по ГОСТ 16990–2017 [17])  <br>1 <sup>st</sup> class – at least 700 (according to GOST 16990–2017 [17])                                                                                    | 925 ± 1 (rye)                                       |
|                                                                 |              | 1, 2 класс – не менее 750 (по ГОСТ 9353–2016 [18])  <br>1 <sup>st</sup> , 2 <sup>nd</sup> class – at least 750 (according to GOST 9353–2016 [18])                                                                 | 1003 ± 1 (wheat)                                    |
| Стекловидность, %<br>Glassiness, %                              | 10987–76     | 1, 2 класс – не менее 60 (по ГОСТ 9353–2016 [18])  <br>1 <sup>st</sup> , 2 <sup>nd</sup> class – at least 60 (according to GOST 9353–2016 [18])                                                                   | 64 ± 5 (wheat)                                      |
| Масса 1000 зерен, г<br>1000 seeds weight, g                     | 10842–89     | От 20 до 60 г.   From 20 to 60 g                                                                                                                                                                                  | 35,0 ± 0,1 (wheat)                                  |
| Влажность, %   Moisture, %                                      | 13586.5–2015 | 1, 2, 3, 4 класс – не более 14,0 (по ГОСТ 16990–2017 [17])  <br>1 <sup>st</sup> , 2 <sup>nd</sup> , 3 <sup>rd</sup> , 4 <sup>th</sup> class – no more 14,0 (according to GOST 16990–2017 [17])                    | 11,0 ± 0,1 (rye)                                    |
|                                                                 |              | 1, 2, 3, 4, 5 класс – не более 14,0 (по ГОСТ 9353–2016 [18])  <br>1 <sup>st</sup> , 2 <sup>nd</sup> , 3 <sup>rd</sup> , 4 <sup>th</sup> , 5 <sup>th</sup> class – no more 14,0 (according to GOST 9353–2016 [18]) | 11,5 ± 0,1 (wheat)                                  |
| Количество клейковины, %  <br>The amount of gluten, %           | P 54478–2011 | 1 класс – не менее 32,0 (по ГОСТ 9353–2016 [18])  <br>1 <sup>st</sup> class – at least 32,0 (according to GOST 9353–2016 [18])                                                                                    | 34,0 ± 0,1 (wheat)                                  |
| Качество<br>клейковины, ед. ИДК<br>Gluten quality, units of IDK | P 54478–2011 | 1, 2 класс – не менее 43–77, I группа качества<br>(по ГОСТ 9353–2016 [18])   1st, 2nd class – at least 43–77,<br>I quality group (according to GOST 9353–2016 [18])                                               | 55 ± 0,1 (wheat)                                    |
| Число падения, с<br>Falling number, s                           | 27676–88     | 1 класс – более 200 (по ГОСТ 16990–2017 [17])  <br>1 <sup>st</sup> class – more then 200 (according to GOST 16990–2017 [17])                                                                                      | 248 ± 1 (rye)                                       |
|                                                                 |              | 1 класс – не менее 200 (по ГОСТ 9353–2016 [18])  <br>1 <sup>st</sup> class – at least 200 (according to GOST 9353–2016 [18])                                                                                      | 346 ± 1 (wheat)                                     |

Стандартные показатели качества ржаной и пшеничной цельнозерновой муки приведены в таблице 7. Результаты свидетельствуют о высоком качестве проб цельнозерновой муки, получаемой при жерновом помоле из зерна ржи и пшеницы, за исключением числа падения, определяющего уровень автолитической активности муки. В данном случае речь идет

о пониженной автолитической активности изучаемых образцов муки.

Свежесть проб цельнозерновой муки, косвенно определяемая по титруемой кислотности согласно ГОСТ 27493–87, отвечала нормам: для ржаной муки – не более 4,4 ± 0,1 град, для пшеничной муки – не более 2,3 ± 0,1 град.

Таблица 7.

Стандартные показатели качества ржаной и пшеничной цельнозерновой муки

Table 7.

Standard quality indicators of rye and wheat whole grain flour

| Показатель<br>Indicator                                         | ГОСТ<br>GOST | Нормативное значение<br>Normative value                                                                                                    | Экспериментальное<br>значение<br>Experimental value |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Влажность, %<br>Moisture, %                                     | 9404–88      | для обойной муки – не более 14,0<br>(по ГОСТ 7045–2017 [19])   for whole flour –<br>no more than 14,0 (according to GOST 7045–2017 [19])   | 11,0 ± 0,1 (rye flour)                              |
|                                                                 |              | для обойной муки – не более 15,0<br>(по ГОСТ 26574–2017 [20])   for whole flour –<br>no more than 15,0 (according to GOST 26574–2017 [20]) | 12,0 ± 0,1 (wheat flour)                            |
| Количество<br>клейковины, %<br>Amount of gluten, %              | 27839–2013   | для обойной муки – не менее 20,0<br>(по ГОСТ 26574–2017 [20])  <br>for whole flour – at least 20,0 (according to GOST 26574–2017 [20])     | 28,8 ± 0,1 (wheat flour)                            |
| Качество<br>клейковины, ед. ИДК<br>Gluten quality, units of IDK | 27839–2013   | для обойной муки – не менее 45–95<br>(по ГОСТ 26574–2017 [20])  <br>for whole flour – at least 45–95, (according to GOST 26574–2017 [20])  | 57,3 ± 0,1 (wheat flour)                            |
| Число падения, с<br>Falling number, s                           | 27676–88     | для обойной муки – не менее 105<br>(по ГОСТ 2075–2017 [19])   for whole flour –<br>at least 105 (according to GOST 2075–2017 [19])         | 258 ± 1 (rye flour)                                 |
|                                                                 |              | для обойной муки – не менее 160<br>(по ГОСТ 26574–2017 [20])   for whole flour –<br>at least 160 (according to GOST 26574–2017 [20])       | 346 ± 1 (wheat flour)                               |

В качестве закваски-стартера использовали ржаную закваску спонтанного брожения, сохраняемую до освеживания в охлажденном виде. Ввод закваски в производство осуществляли путем ее согревания и освеживания четыре раза подряд через каждые 5,5–6 ч при температуре 28–30 °С.

В предыдущем исследовании [14] изучали количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ),

КОЕ/г по ГОСТ 10444.15–94, бактерий группы кишечных палочек (колиформы) (БГКП) в 1 г продукта по ГОСТ 31747–2012, плесеней, дрожжей, КОЕ/г по ГОСТ 10444.12–2013, молочнокислых микроорганизмов по ГОСТ 10444.11–2013, *Staphylococcus aureus* в 1 г продукта по ГОСТ 31746–2012 в объектах исследования, указанных в таблице 8.

Таблица 8.

Результаты исследования микробиологических показателей сырья и закваски

Table 8.

The results of the study of microbiological parameters of raw materials and starter culture

| Образец<br>Sample                                                           | КМАФАнМ, КОЕ/г<br>Mesophilic aerobic and<br>facultative anaerobic<br>microorganisms, CFU/g | БГКП (колиформы)<br>в 1 г продукта<br>Bacteria of the<br><i>E. coliform</i> group<br>(coliforms)<br>in 1 g of the product | Молочно-<br>кислые<br>микроорганизмы<br>Lactic acid<br>microorganisms | Плесени,<br>КОЕ/г<br>Mold,<br>CFU/g | Дрожжи,<br>КОЕ/г<br>Yeast,<br>CFU/g |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Зерно ржи   Rye grain                                                       | $4,8 \times 10^4$                                                                          | –                                                                                                                         | $<1,0 \times 10$                                                      | $1,0 \times 10$                     | $4,6 \times 10$                     |
| Зерно пшеницы   Wheat grain                                                 | $1,2 \times 10^3$                                                                          | –                                                                                                                         | $1,0 \times 10^3$                                                     | $<1,0 \times 10$                    | $<1,0 \times 10$                    |
| Мука ржаная цельнозерновая<br>Whole grain rye flour                         | $1,0 \times 10^4$                                                                          | –                                                                                                                         | $9,0 \times 10^2$                                                     | $<1,0 \times 10$                    | $<1,0 \times 10$                    |
| Мука пшеничная цельнозерновая  <br>Whole grain wheat flour                  | $1,8 \times 10^3$                                                                          | –                                                                                                                         | $3,0 \times 10^2$                                                     | $6,0 \times 10$                     | $<1,0 \times 10$                    |
| Стартер-закваска из ржаной муки  <br>Starter starter made of rye flour      | $6,8 \times 10^5$                                                                          | –                                                                                                                         | $3,8 \times 10^7$                                                     | $<1,0 \times 10$                    | $6,4 \times 10^8$                   |
| Стартер-закваска из пшеничной муки  <br>Starter starter made of wheat flour | $8,0 \times 10^5$                                                                          | –                                                                                                                         | $4,6 \times 10^7$                                                     | $<1,0 \times 10$                    | $6,8 \times 10^8$                   |

Посевы микрофлоры зерна, муки и закваски на плотные питательные среды показали различное в них содержание мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных, молочнокислых микроорганизмов, плесеней и дрожжей при отсутствии бактерий группы кишечной палочки (колиформы). Очевидно, что переработка зерна в цельнозерновую муку в целом приводит к снижению обсемененности сырья молочнокислыми микроорганизмами, плеснями и дрожжами за счет удаления загрязненных частиц оболочек, что уменьшает вероятность попадания в готовую продукцию микотоксинов и гликозидов.

Стартеры-закваски из цельнозерновой ржаной и пшеничной муки обладают высоким содержанием мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных, молочнокислых микроорганизмов и дрожжей с преимуществом последних без обнаружения бактерий группы кишечных палочек (колиформы), что позволяет их использовать в хлебопечении в качестве биологического разрыхлителя.

## Результаты и обсуждение

Для проведения экспериментальных исследований процесса изготовления ржано-пшеничного и пшенично-ржаного хлеба из цельнозерновой муки, получаемой из зерна озимой ржи «Саратовская 7» и мягкой яровой пшеницы «Тулайковская 10», разрабатывали способы производства хлеба ржано-пшеничного простого и пшенично-ржаного простого по ГОСТ 2077–84.

В опытных условиях хлеб ржано-пшеничный простой и пшенично-ржаной простой изготавливали из муки цельнозерновой жернового помола ТМ «Хомяков-Хлеб» (г. Краснодар, Россия) при полной замене ею в рецептуре ржаной или пшеничной хлебопекарной обойной муки. Форма изделия прямоугольная, соответствующая хлебопекарной овальной форме Л11 по ГОСТ 17327–95, масса штучного изделия 0,4 кг. Рецептура изделий представлена в таблице 9.

Таблица 9.

Рецептура (на 100 кг муки) хлеба из ржаной и пшеничной обойной муки

Table 9.

Recipe (per 100 kg of flour) of rye and wheat dark flour bread

| Сорт хлеба<br>Sort of bread                           | ГОСТ<br>GOST | Мука ржаная<br>обойная<br>Dark rye flour | Мука пшеничная<br>обойная<br>Dark wheat flour | Дрожжи прессованные<br>хлебопекарные<br>Pressed baking yeast | Соль поваренная<br>пищевая<br>Table salt |
|-------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Хлеб ржано-пшеничный простой<br>Rye-wheat plain bread | 2077–84      | 60                                       | 40                                            | 0,05                                                         | 1,5                                      |
| Хлеб пшенично-ржаной простой<br>Wheat-rye plain bread | 2077–84      | 30                                       | 70                                            | 0,05                                                         | 1,5                                      |

В общепринятой технологии хлеб ржано-пшеничный простой вырабатывают формовым и подовым, весовым и штучным из муки ржаной обойной и пшеничной обойной в соотношении 60 и 40, получаемых в готовой смеси или раздельно. Масса хлеба подового и формового весового не более 3,0 кг, подового и формового штучного – 0,75–1,45 кг. Подовый хлеб имеет круглую или продолговато-овальную форму.

Тесто можно готовить в две стадии на закваске густой, жидкой без заварки или с заваркой или на концентрированной молочной закваске с добавлением при замесе

теста прессованных (0,7%) или жидких дрожжей (10–15% в пересчете на муку) [13].

В ходе исследований изучали схему культивирования жидкой ржаной закваски с заваркой и без, получаемой из закваски-стартера спонтанного брожения, по изменению ее биотехнологических свойств. Данные приведены в таблице 10. Физико-химические свойства заквасок оценивали общепринятыми методами теххимического контроля: влажность (в%) экспресс-методом на приборе Чижовой, кислотность (в град) методом титрования, подъемную силу (в мин) методом всплывания шарика.

Таблица 10.

Показатели качества жидкой ржаной закваски, культивируемой из стартера-закваски спонтанного брожения

Table 10.

Quality indicators of liquid rye sourdough cultivated from starter of spontaneous fermentation

| Продолжительность брожения, мин  <br>Duration of fermentation, min                  | Влажность, %  <br>Moisture, % | Кислотность, град  <br>Acidity, degree | Подъемная сила, мин  <br>Strength of the sourdough, min |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Жидкая ржаная закваска с мучной заваркой   Liquid rye sourdough with flour brew     |                               |                                        |                                                         |
| 0*                                                                                  | 70,9                          | 12,9                                   | 34                                                      |
| свыше 120   above 120                                                               | 72,0                          | 8,2                                    | 50                                                      |
| свыше 180   above 180                                                               | 72,1                          | 9,5                                    | 36                                                      |
| свыше 240   above 240                                                               | 72,3                          | 10,9                                   | 28                                                      |
| свыше 300   above 300                                                               | 72,4                          | 11,7                                   | 27                                                      |
| свыше 360   above 360                                                               | 72,4                          | 12,6                                   | 30                                                      |
| свыше 400   above 400                                                               | 72,5                          | 13,2                                   | 33                                                      |
| Жидкая ржаная закваска без мучной заварки   Liquid rye sourdough without flour brew |                               |                                        |                                                         |
| 0*                                                                                  | 71,2                          | 12,9                                   | 44                                                      |
| свыше 60   above 60                                                                 | 71,3                          | 9,9                                    | 43                                                      |
| свыше 150   above 150                                                               | 71,5                          | 12,7                                   | 33                                                      |
| свыше 230   above 230                                                               | 71,5                          | 14,3                                   | 34                                                      |
| свыше 300   above 300                                                               | 71,7                          | 14,4                                   | 37                                                      |
| свыше 360   above 360                                                               | 71,8                          | 15,7                                   | 42                                                      |

\* образец жидкой закваски после последнего освежения за 300 мин до начала схемы культивирования |

\* a sample of liquid starter culture after the last skinning 300 minutes before the start of the cultivation scheme

Проведение культивирования ржаной закваски из закваски-стартера спонтанного брожения по предложенной схеме позволяет получить бродильный полуфабрикат – жидкую закваску на мучной заварке с высокими биотехнологическими свойствами при продолжительности выбраживания свыше 360 мин, что соответствует нормам хлебопекарного производства. Жидкая закваска без мучной заварки созревает быстрее, поскольку для размножения бродильной микрофлоры расходуются собственные сахара муки, определяя продолжительность брожения закваски не более 240 мин.

В целях сокращения продолжительности схемы изготовления хлеба ржано-пшеничного простого процесс приготовления теста включал три стадии: разводочный цикл закваски, производственный цикл закваски, замес и брожение

хлебопекарного теста. Для выведения закваски по разводочному циклу использовали вариант III фазы разводочного цикла жидкой закваски без заварки согласно рекомендациям [13].

Рецептура III фазы разводочного цикла жидкой закваски без заварки (на 306 кг) следующая: закваска предыдущей фазы (стартер) – 153 кг, мука ржаная цельнозерновая – 50 кг, вода – 103 кг. Влажность в пределах 70–72%, температура начальная 28–30 °С, кислотность конечная 10–13 град, продолжительность брожения 180–240 мин. В производственном цикле жидкой закваски без заварки использовали рецептуру и режим приготовления полуфабриката согласно рекомендациям [13], что указано в таблице 11.

Таблица 11.

Режим приготовления теста для базовой рецептуры хлеба ржано-пшеничного простого на культивированной ржаной жидкой закваске

Table 11.

The dough preparation mode for the basic recipe of rye-wheat plain bread on cultured rye liquid sourdough

| Наименование сырья, полуфабрикатов и показателей процесса<br>Name of raw materials, semi-finished products and process indicators | Расход сырья и параметры процесса приготовления теста на жидкой закваске   Raw material consumption and parameters of the dough preparation process on liquid sourdough |                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                                                                                                                   | закваска   sourdough                                                                                                                                                    | тесто   dough               |
| Жидкая закваска, кг   Liquid sourdough, kg                                                                                        | 38                                                                                                                                                                      | 76                          |
| Мука в закваске на тесто, кг   Sourdough flour per dough, kg                                                                      | –                                                                                                                                                                       | 25                          |
| Мука ржаная цельнозерновая, кг   Whole grain rye flour, kg                                                                        | 12,5                                                                                                                                                                    | 35                          |
| Мука пшеничная цельнозерновая, кг   Whole grain wheaten flour, kg                                                                 | –                                                                                                                                                                       | 40                          |
| Соль поваренная пищевая, кг   Table salt, kg                                                                                      | –                                                                                                                                                                       | 1,5                         |
| Вода питьевая, кг   Drinking water, kg                                                                                            | 25,5                                                                                                                                                                    | по расчету   by calculation |
| Влажность, %   Moisture, %                                                                                                        | 69–75                                                                                                                                                                   | 50                          |
| Температура начальная, °C   Initial temperature, °C                                                                               | 28–30                                                                                                                                                                   | 29–31                       |
| Продолжительность брожения, мин   Duration of fermentation, min                                                                   | 180–240                                                                                                                                                                 | 60–90                       |
| Кислотность конечная, град   Final acidity, deg                                                                                   | 10–13                                                                                                                                                                   | 9–13                        |

По органолептическим показателям опытные образцы хлеба ржано – пшеничного простого не отличались от характеристик стандартного образца. Сравнительная характеристика физико-химических показателей качества хлеба ржано-пшеничного простого, взятых из стандарта

и результатов опыта, приведена в таблице 12. Отметим, что значительное отличие в качественных характеристиках «пробы по стандарту» и пробы в опыте наблюдается в только показателе кислотности, не превышающем верхний предел по норме стандарта.

Таблица 12.

Сравнительная характеристика физико-химических показателей качества хлеба ржано-пшеничного простого, взятых из стандарта и результата опыта

Table 12.

Comparative characteristics of the physico-chemical quality indicators of rye-wheat bread, taken from the standard and the result of the experiment

| Показатель<br>Indicator                                                   | Стандартный образец<br>Standard sample | Опытный образец<br>The prototype |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Влажность мякиша, %, не более   Moisture content of the crumb, %, no more | 49,0                                   | 47,7                             |
| Кислотность мякиша, град, не более   Acidity of the crumb, deg, no more   | 11,0                                   | 8,0                              |
| Пористость, %, не менее   Porosity, %, not less                           | 50,0                                   | 50,0                             |

Хлеб пшенично-ржаной простой в классической технологии вырабатывают формовым и подовым, весовым и штучным из муки пшеничной обойной и ржаной обойной в соотношении 70 и 30, получаемых в готовой смеси или раздельно. Масса хлеба подового и формового весового не более 2,0 кг, подового и формового штучного 0,75–1,45 кг. Подовый хлеб имеет круглую или продолговато-овальную форму с примерными размерами: длина 27–33 см, ширина 12–17 см.

Тесто для хлеба пшенично-ржаного простого готовят с применением заквасок густой, жидкой без заварки или с заваркой.

В данном исследовании процесс приготовления теста для хлеба пшенично-ржаного простого включал три стадии: разводочный цикл

закваски, производственный цикл закваски, замес и брожение хлебопекарного теста. Для выведения закваски по разводочному циклу использовали вариант III фазы разводочного цикла жидкой закваски без заварки согласно рекомендациям [13]. Рецепт III фазы разводочного цикла жидкой закваски без заварки (на 306 кг) следующая: закваска предыдущей фазы (стартер) – 153 кг, мука ржаная цельнозерновая – 50 кг, вода – 103 кг. Влажность в пределах 70–72%, температура начальная 28–30 °C, кислотность конечная 10–13 град, продолжительность брожения 150–240 мин. В производственном цикле жидкой закваски без заварки использовали рецептуру и режим приготовления полуфабриката согласно вышеуказанным рекомендациям [13], что указано в таблице 13.

Таблица 13.

Режим приготовления теста для базовой рецептуры хлеба пшенично-ржаного простого на культивированной ржаной жидкой закваске

Table 13.

The dough preparation mode for the basic recipe of wheat-rye plain bread on cultured rye liquid sourdough

| Наименование сырья, полуфабрикатов и показателей процесса<br>Name of raw materials, semi-finished products and process indicators | Расход сырья и параметры процесса приготовления теста на жидкой закваске<br>Raw material consumption and parameters of the dough preparation process on liquid sourdough |                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                                                                                                                                   | закваска   sourdough                                                                                                                                                     | тесто   dough               |
| Жидкая закваска, кг   Liquid sourdough, kg                                                                                        | 46                                                                                                                                                                       | 92                          |
| Мука в закваске на тесто, кг   Sourdough flour per dough, kg                                                                      | –                                                                                                                                                                        | 30                          |
| Мука ржаная цельнозерновая, кг   Whole grain rye flour, kg                                                                        | 15                                                                                                                                                                       | –                           |
| Мука пшеничная цельнозерновая, кг   Whole grain wheaten flour, kg                                                                 | –                                                                                                                                                                        | 70                          |
| Соль поваренная пищевая, кг   Table salt, kg                                                                                      | –                                                                                                                                                                        | 1,5                         |
| Вода питьевая, кг   Drinking water, kg                                                                                            | 31                                                                                                                                                                       | по расчету   by calculation |
| Влажность, %   Moisture, %                                                                                                        | 70–72                                                                                                                                                                    | 51                          |
| Температура начальная, °C   Initial temperature, °C                                                                               | 28–30                                                                                                                                                                    | 29–31                       |
| Продолжительность брожения, мин   Duration of fermentation, min                                                                   | 150–240                                                                                                                                                                  | 60–90                       |
| Кислотность конечная, град   Final acidity, deg                                                                                   | 10–13                                                                                                                                                                    | 8–12                        |

По органолептическим показателям опытные образцы хлеба пшенично-ржаного простого не отличались от характеристик стандартного образца. Сравнительная характеристика физико-химических показателей качества хлеба пшенично-ржаного простого, взятых из стандарта и результатов опыта, приведена

в таблице 14. Как и для хлеба ржано-пшеничного простого, значительное отличие в качественных характеристиках «пробы по стандарту» и пробы в опыте наблюдается в только показателе кислотности, не превышающем верхний предел по норме стандарта.

Таблица 14.

Сравнительная характеристика физико-химических показателей качества хлеба пшенично-ржаного простого, взятых из стандарта и результата опыта

Table 14.

Comparative characteristics of the physico-chemical quality indicators of wheat-rye bread, taken from the standard and the result of the experiment

| Показатель<br>Indicator                                                   | Стандартный образец<br>Standard sample | Опытный образец<br>The prototype |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Влажность мякиша, %, не более   Moisture content of the crumb, %, no more | 50,0                                   | 49,3                             |
| Кислотность мякиша, град, не более   Acidity of the crumb, deg, no more   | 10,0                                   | 6,1                              |
| Пористость, %, не менее   Porosity, %, not less                           | 54,0                                   | 54,0                             |

В качестве рекомендаций по улучшению качества хлеба ржано-пшеничного простого и пшенично-ржаного простого при выявлении его недостатков в опыте можно отметить влияние на аромат хлебобулочных изделий выбранного способа приготовления теста на заквасках. При этом, важнейшим фактором, имеющим значение для вкуса и аромата хлеба является кислотообразование. Во-первых, молочная кислота, образующаяся в результате заквашивания, препятствует развитию других видов брожения, продукты которых неприятны во вкусовом отношении. Во-вторых, сама образовавшаяся молочная кислота способствует усилению аромата хлеба с ржаной мукой. В-третьих, кислая среда создает благоприятные предпосылки для образования ароматообразующих веществ в процессе выпечки [12].

### Закключение

Проведенные теоретические исследования посвящены изучению характерных особенностей теста, приготавливаемого из смеси ржаной

и пшеничной муки, состава микроорганизмов его бродильной микрофлоры и общепринятых способов приготовления, подбору рецептур и параметров производства полуфабрикатов и готовых изделий. Экспериментальные исследования процесса изготовления ржано-пшеничного и пшенично-ржаного хлеба из цельнозерновой муки позволили произвести культивирование жидкой закваски из закваски спонтанного брожения, разработать схему ее разводочного и производственного циклов, предложить технологические режимы приготовления хлеба ржано-пшеничного простого и пшенично-ржаного простого. В дальнейшем, целесообразно проведение теоретических и экспериментальных исследований с целью изучения процесса изготовления ржано-пшеничного и пшенично-ржаного хлеба при совершенствовании способов приготовления теста, в том числе при полной замене хлебопекарной ржаной и пшеничной обойной муки в рецептуре изделий цельнозерновой мукой, получаемой из зерна озимой ржи сорта «Саратовская 7» и яровой мягкой пшеницы сорта «Тулайковская 10».

## Литература

- 1 Пат. № 2277438 С2, RU, В02С 9/04. Мука ржано-пшеничная хлебопекарная и ее способ производства Берестнев Е.В., Шнуровский Ю.А., Смирнов В.В., Соколова З.И. № 2004111322/13; Заявл.13.04.2004. Опубл. 10.06.2006. Бюл. № 16.
- 2 ГОСТ 2077–84 Хлеб ржаной, ржано-пшеничный и пшенично-ржаной. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2006. С. 47–52.
- 3 ГОСТ 7045–2017 Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2017. 12 с.
- 4 ГОСТ 9353–2016 Пшеница. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2016. 15 с.
- 5 ГОСТ 12183–2018 Мука ржано-пшеничная и пшенично-ржаная обойная. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2019. 14 с.
- 6 ГОСТ 16990–2017 Рожь. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2017. 10 с.
- 7 ГОСТ 26574–2017 Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2017. 16 с.
- 8 Громцев С.А., Громцев А.С., Червяков О.М. Особенности производства ржано-пшеничного хлеба в полевых условиях // Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 3. С. 14.
- 9 Дубцов Г.Г. Приготовление хлеба из пшеничной обойной муки и смеси ее с сортовой мукой. М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродукта СССР, 1987. 12 с.
- 10 Иванова Л.Ф., Щербатенко В.В. Авторское свидетельство SU 108444 А1 А21D 8/02 Способ приготовления ржаного, ржано-пшеничного и пшеничного хлеба из обойной муки. Заяв. № 560173 от 01.11.1956. Опубл. 01.01.1957. 1 с.
- 11 Инструкция по приготовлению хлеба в войсковых и гарнизонных хлебопекарнях из ржаной и пшеничной обойной муки с примесями ячменной, овсяной и кукурузной муки до 40%: [Утв. 10/XI-1946 г.] / Упр. продовольств. снабжения Гл. интендант. упр. Вооруж. Сил. М.: Центр. тип. им. Ворошилова, 1946. 8 с.
- 12 Козьмина Н.П. Биохимия хлебопечения. М.: Пищевая промышленность, 1978. 279 с.
- 13 Кузьмина Е., Петрова Е.В., Пучкова Л.И., Панкратов Г.Н. Влияние качества помольной смеси на хлебопекарные свойства ржано-пшеничной муки // Хлебопродукты, 1998. № 11. С. 21–23.
- 14 Пучкова Л.И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства: учеб. пособ. для вузов. 4-е изд., пер. и доп. СПб.: ГИОРД, 2004. 259 с.
- 15 Пучкова Л.И., Поландова Р.Д., Матвеева И.В. Технология хлеба. СПб.: ГИОРД, 2005. 559 с.
- 16 Роте М. Аромат хлеба. Пер. с нем. канд. техн. наук Н.Г. Еникеевой, Э.Я. Вейцель; под ред. д-ра техн. наук Л.Я. Ауэрмана. М.: Пищевая промышленность, 1978. 238 с.
- 17 Сборник технологических инструкций для производства хлеба и хлебобулочных изделий. М.: Прейскурантиздат, 1989. 494 с.
- 18 Чулина Е.П. Пути повышения качества ржано-пшеничного хлеба на основе исследований свойств смесей ржаной и пшеничной обойной муки: Автореферат дис., представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук / Моск. ордена Трудового Красного Знамени ин-т нар. хозяйства им. Г.В. Плеханова. М., 1963. 11 с.
- 19 Шмалько Н.А., Бочкова Л.К., Полякова В.В. Технологические аспекты формирования качества хлеба из муки проросшего зерна пшеницы // Инновации в индустрии питания и сервисе: электронный сборник материалов V Международной научно-практической конференции. Краснодар: Изд. Кубанский государственный технологический университет, 2023. С. 459–464.
- 20 Шмалько Н.А., Кудрявцева Л.А. Сортные особенности и хлебопекарные свойства зерна озимой ржи «Саратовская 7» // Молодой ученый. 2024. № 18 (517). С. 46–49. URL: <https://moluch.ru/archive/517/113514/>

## References

- 1 Berestnev E.V., Shnurovsky Yu. A., Smirnov V.V., Sokolova Z.I. Rye-wheat baking flour and its production method Patent RF, no. 2277438, 2016. (in Russian).
- 2 State Standart 2077–84 Rye bread, rye-and-wheat bread. Specifications // Bread. Technical specifications. M.: Standartinform, 2006. pp. 47–52. (in Russian).
- 3 State Standart 7045–2017 Rye baking flour. Specifications. Moscow: Standartinform, 2019. 12 p. (in Russian).
- 4 State Standart 9353–2016 Wheat. Specifications. Moscow: Standartinform, 2016, 2019. 15 p. (in Russian).
- 5 State Standart 12183–2018 Rye-wheat and wheat-rye whole bakery flour. Specifications. Moscow: Standartinform, 2019. 14 p. (in Russian).
- 6 State Standart 16990–2017 Rye. Specifications. Moscow: Standartinform, 2017, 2019. 10 p. (in Russian).
- 7 State Standart 26574–2017 Wheat bakery flour. Specifications. Moscow: Standartinform, 2017, 2018. 16 p. (in Russian).
- 8 Gromtsev S.A., Gromtsev A.S., Chervyakov O.M. Features of the production of rye-wheat bread in the field // Processes and apparatuses of food production, 2013. no. 3. pp. 14. (in Russian).
- 9 Dubtsov G.G. Preparation of bread from wheat whole flour and its mixture with varietal flour. Moscow: TSNIITEI Minkhleboprodukta USSR, 1987. 12 p. (in Russian).
- 10 Ivanova L.F., Shcherbatenko V.V. Copyright certificate SU 108444 A1 A21D 8/02 Method of preparation of rye, rye-wheat and wheat bread from whole flour. The application. No. 560173 dated 11/01/1956. Publ. 01.01.1957. 1 p. (in Russian).
- 11 Instructions for making bread in military and garrison bakeries from rye and wheat whole flour with admixtures of barley, oatmeal and corn flour up to 40%: [Approved 10/XI-1946] / Upr. foodstuffs. supply Chief Quartermaster. upr. Armed Forces. M.: Voroshilov Center. type., 1946. 8 p. (in Russian).
- 12 Kozmina N.P. Biochemistry of baking. M.: Food industry, 1978. 279 p. (in Russian).

- 13 Kuzmina E., Petrova E.V., Puchkova L.I., Pankratov G.N. The influence of the quality of the grinding mixture on the baking properties of rye-wheat flour // Bread products, 1998. no. 11. pp. 21–23. (in Russian).
- 14 Puchkova L.I. Laboratory workshop on bakery production technology: textbook. help. for universities. 4th ed., trans. and add. St. Petersburg: GIOR, 2004. 259 p. (in Russian).
- 15 Puchkova L.I., Polandova R.D., Matveeva I.V. Bread technology. SPb.: GIOR, 2005. 559 p. (in Russian).
- 16 Rote M. Flavor of bread. Translated from German by Candidate of Technical Sciences N.G. Enikeeva, E. Ya. Weitzel; edited by Dr. of Technical Sciences L. Ya. Auerman. M.: Food industry, 1978. 238 p. (in Russian).
- 17 Collection of technological instructions for the production of bread and bakery products. Moscow: Pricelist, 1989. 494 p. (in Russian).
- 18 Chulina E.P. Ways to improve the quality of rye-wheat bread based on studies of the properties of mixtures of rye and wheat whole flour: Abstract of the dissertation submitted for the degree of Candidate of technical Sciences / Moscow. The Order of the Red Banner of Labor in-t nar. farms named after G.V. Plekhanov. M., 1963. 11 p. (in Russian).
- 19 Shmal'ko N.A., Bochkova L.K., Polyakova V.V. Technological aspects of the formation of bread quality from flour of sprouted wheat grain // Innovations in the food industry and service: electronic collection of materials of the V International Scientific and practical Conference. Krasnodar: Ed. Kuban State Technological University, 2023. pp. 459–464. (in Russian).
- 20 Shmal'ko N.A., Kudryavtseva L.A. Varietal features and baking properties of winter rye grain "Saratovskaya 7" // Young Scientist. 2024. no. 18 (517). pp. 46–49. URL: <https://moluch.ru/archive/517/113514/>. (in Russian).

# Сведения об авторах

**Наталья А. Шмалько** к.т.н., доцент, кафедра пищевой инженерии, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, [kafedra-tith@ya.ru](mailto:kafedra-tith@ya.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-8939-0265>

**Стелла В. Демченко** к.т.н., доцент, кафедра биоорганической химии и технической микробиологии, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, [stellid@ya.ru](mailto:stellid@ya.ru)

**Лидия А. Кудрявцева** студент бакалавриата, кафедра пищевой инженерии, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, [lida.kudryavtseva.02@mail.ru](mailto:lida.kudryavtseva.02@mail.ru)

**Игорь А. Никитин** д.т.н., доцент, зав. кафедрой, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 115054, Россия, [nikito.igor@gmail.com](mailto:nikito.igor@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

**Елена Ю. Бобкова** к.п.н., доцент, доцент, кафедра гуманитарных и социально-экономических дисциплин, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, [edu@vica3.ru](mailto:edu@vica3.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-8934-1842>

**Наталья В. Батищева** к.т.н., старший преподаватель, кафедра естественно-научных и технических дисциплин, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, [n.batischeva@inbox.ru](mailto:n.batischeva@inbox.ru)

# Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

# Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# Information about authors

**Natalya A. Shmal'ko** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Food Engineering, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, [kafedra-tith@ya.ru](mailto:kafedra-tith@ya.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-8939-0265>

**Stella V. Demchenko** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Bioorganic Chemistry and Technical Microbiology, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, [stellid@ya.ru](mailto:stellid@ya.ru)

**Lidiya A. Kudryavtseva** undergraduate student, Department of Food Engineering, Kuban State Technological University, Moskovskaya St., 2, Krasnodar, 350072, Russia, [lida.kudryavtseva.02@mail.ru](mailto:lida.kudryavtseva.02@mail.ru)

**Igor A. Nikitin** Dr. Sci. (Engin.), assistant professor, head of Department of Food Technology and Bioengineering, Plekhanov Russian University Of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 115054, Russia, [nikito.igor@gmail.com](mailto:nikito.igor@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

**Elena YU. Bobkova** Cand. Sci. (Pedagogical), assistant professor, assistant professor, Department of Humanitarian and socio-economic disciplines, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, [edu@vica3.ru](mailto:edu@vica3.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-8934-1842>

**Natalia V. Batisheva** Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, Department of Natural sciences and technical disciplines, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (The First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, [n.batischeva@inbox.ru](mailto:n.batischeva@inbox.ru)

# Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

# Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 21/10/2024 | После редакции 19/11/2024      | Принята в печать 25/11/2024 |
| Received 21/10/2024  | Accepted in revised 19/11/2024 | Accepted 25/11/2024         |

## Разработка рецептуры и технологии бисквита шоколадного со сниженной калорийностью

|                      |              |                                                                                      |                                                                                                         |
|----------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Анна Е. Ковалева     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:a.e.kovaleva@ya.ru">a.e.kovaleva@ya.ru</a>                           |  0000-0001-7807-1755 |
| Эльвира А. Пьяникова | <sup>1</sup> | <a href="mailto:alia1969@ya.ru">alia1969@ya.ru</a>                                   |  0000-0003-4424-7323 |
| Оксана В. Евдокимова | <sup>2</sup> | <a href="mailto:evdokimova_oxana@bk.ru">evdokimova_oxana@bk.ru</a>                   |  0000-0002-0393-2327 |
| Анна Е. Павлова      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:aepavlovaee@gmail.com">aepavlovaee@gmail.com</a>                     |                                                                                                         |
| Екатерина Е. Павлова | <sup>1</sup> | <a href="mailto:pavlova.ekaterina0902@gmail.com">pavlova.ekaterina0902@gmail.com</a> |                                                                                                         |

1 Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия

2 Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия

**Аннотация.** Жир является одним из незаменимых компонентов вкуса пищи, но при этом чрезмерное потребление жиров может вызвать ожирение, метаболические синдромы и дисбаланс кишечной флоры. В стремлении к здоровому питанию пищевая промышленность сосредоточилась на производстве продуктов с низким содержанием жиров/калорий и высоким содержанием клетчатки. Целью исследования являлась разработка рецептуры и технологии производства бисквита шоколадного пониженной калорийности. Для этого часть муки пшеничной высшего сорта была заменена мукой кукурузной, сахара – на сахарозаменитель «Prebiosweet», яиц – на яблочные выжимки свежемороженые, часть какао-порошка – на кэроб. Произведенные замены в рецептуре бисквита оказали влияние на технологический процесс. В связи с заменой сливочного масла на растительное исключена операция взбивания. Была введена дополнительная операция по приготовлению мацерата яблочных выжимок на растительном масле для сохранения пищевой ценности и улучшения технологических свойств яблочного сырья. При этом при приготовлении мацерата температура нагревания не должна превышать 40°C с целью сохранения витаминов и других нутриентов, содержащихся в яблочных выжимках. Замена яиц яблочными выжимками, богатыми пектином, позволила исключить операцию взбивания. Также произведенные замены в рецептуре оказали влияние на продолжительность и температуру выпекания, которые, в сравнении с контрольным образцом, были снижены: время выпекания составило 20 мин. и температура выпекания 160-170 °C. Таким образом, предложенная рецептура позволяет создать более полезную альтернативу традиционному шоколадному бисквиту, сохраняя при этом его приятный вкус и текстуру. Использование яблочных выжимок и кукурузной муки не только снижает калорийность, но и повышает пищевую ценность продукта за счёт содержания пектина, клетчатки и других полезных соединений.

**Ключевые слова:** бисквит шоколадный, рецептура, технологические параметры, кукурузная мука, кэроб, яблочные выжимки.

## Development of the formulation and technology of oatmeal diet cookies

|                      |              |                                                                                      |                                                                                                           |
|----------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anna E. Kovaleva     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:a.e.kovaleva@ya.ru">a.e.kovaleva@ya.ru</a>                           |  0000-0001-7807-1755 |
| Elvira A. Pyanikova  | <sup>1</sup> | <a href="mailto:alia1969@ya.ru">alia1969@ya.ru</a>                                   |  0000-0003-4424-7323 |
| Oksana V. Evdokimova | <sup>2</sup> | <a href="mailto:evdokimova_oxana@bk.ru">evdokimova_oxana@bk.ru</a>                   |  0000-0002-0393-2327 |
| Anna E. Pavlova      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:aepavlovaee@gmail.com">aepavlovaee@gmail.com</a>                     |                                                                                                           |
| Ekaterina E. Pavlova | <sup>1</sup> | <a href="mailto:pavlova.ekaterina0902@gmail.com">pavlova.ekaterina0902@gmail.com</a> |                                                                                                           |

1 South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia

2 Kursk Institute of Cooperation, Radishcheva, 116, Kursk, 305004, Russia

**Abstract.** Fat is one of the essential components of the taste of food, but excessive fat intake can cause obesity, metabolic syndromes and an imbalance of the intestinal flora. In pursuit of a healthy diet, the food industry has focused on the production of low-fat/calorie and high-fiber foods. The purpose of the study was to develop a recipe and technology for the production of low-calorie chocolate sponge cake. To do this, part of the premium wheat flour was replaced with corn flour, sugar – with Prebiosweet sweetener, eggs – with freshly frozen apple pomace, part of cocoa powder – with carob. The changes made in the biscuit recipe had an impact on the technological process. Due to the replacement of butter with vegetable oil, the whipping operation is excluded. An additional operation was introduced to prepare macerate of apple pomace in vegetable oil to preserve the nutritional value and improve the technological properties of apple raw materials. At the same time, when preparing macerate, the heating temperature should not exceed 40 °C in order to preserve vitamins and other nutrients contained in apple pomace. Replacing eggs with apple pomace rich in pectin made it possible to eliminate the whipping operation. Also, the changes made in the formulation had an impact on the duration and temperature of baking, which, in comparison with the control sample, were reduced: the baking time was 20 minutes, and the baking temperature is 160-170 °C. Thus, the proposed recipe allows you to create a more useful alternative to the traditional chocolate sponge cake, while maintaining its pleasant taste and texture. The use of apple pomace and corn flour not only reduces the calorie content, but also increases the nutritional value of the product due to the content of pectin, fiber and other useful compounds.

**Keywords:** chocolate sponge cake, recipe, technological parameters, corn flour, carob, apple pomace.

### Для цитирования

Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Евдокимова О.В., Павлова А.Е., Павлова Е.Е. Разработка рецептуры и технологии бисквита шоколадного со сниженной калорийностью // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 155–162. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-155-162

### For citation

Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Evdokimova O.V., Pavlova A.E., Pavlova E.E. Development of the formulation and technology of oatmeal diet cookies. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 155–162. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-155-162

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Растущий в последнее время спрос на пищевые продукты, приготовленные с минимальным количеством ингредиентов, без использования искусственных добавок и заменой традиционного сырья на более полезное, бросают вызов традиционному подходу к разработке новых продуктов. Сокращение потребления сахара и жиров является основной целью производителей продуктов питания в мире в попытке снизить количество таких заболеваний, как ожирение и сахарный диабет II типа [1, 2].

Торты являются популярными мучными кондитерскими изделиями с постоянно растущим спросом на мировом рынке. Из-за высокого содержания жиров и углеводов мучные кондитерские изделия – хороший источник энергии. К таким продуктам относятся бисквиты, как одно из самых распространенных «лакомств» среди потребителей [3]. Кроме этого, бисквиты являются основой для тортов.

Бисквит среди мучных кондитерских изделий считается одним из наиболее калорийных продуктов. Снизить калорийность можно за счет введения в рецептуру или путем замены части традиционного сырья исключительно полезных продуктов [4].

Традиционным сырьем в рецептуре классического бисквита шоколадного являются мука пшеничная высшего сорта, яйца, сахар, сливочное масло и какао-порошок.

Яйцо, входящее в рецептуру бисквита, является важным многофункциональным элементом рецептуры, в котором белок отвечает за образование и стабилизацию пены. Фракция глобулина является пенообразователем, а овомуцин – стабилизатором пены [5, 6].

Яичные белки в тесте, способствующие стабилизации газовых пузырьков при выпекании бисквита на заключительных этапах, превращают жидкое тесто в плотную пену за счет коагуляции яичного белка и желатинизации крахмала. В составе яблочных выжимок присутствует пектин, который обладает той же способностью, что и яйца, – связывать в тесте разные ингредиенты между собой, плотность которых будет приближена к плотности классических бисквитов.

При разработке рецептуры бисквита с заменой сливочного масла на растительное целесообразно использовать сырьевые компоненты, обладающие высокими показателями жиростойкости и жиромодулирующей способностей, а также стабильности эмульсии. Этим требованиям отвечает кукурузная мука [7].

Из-за отсутствия глютена выпечка с кукурузной мукой пропекается быстрее, чем с пшеничной. Глютен присутствует в пшеничной

муке и отвечает за эластичность теста, связывание его компонентов и пышность выпечки. В кукурузной муке он отсутствует, поэтому белки этой муки слабо набухают и не образуют клейковину [8], но способны образовывать устойчивые гели [7].

Также кукурузная мука обладает более высокой впитываемостью, чем пшеничная, поэтому для получения правильной консистенции теста необходимо добавлять больше жидкости, чем при использовании пшеничной муки. Кукурузной муке свойственна высокая жиростойкость, т. е. ее частицы обладают большей твердостью. Высокая жиростойкость сырья оказывает влияние на текстуру изделий, предотвращает миграцию жира и уменьшает потери при термообработке [9,12-13].

Какао-порошок является одним из ингредиентов в рецептуре бисквита шоколадного, придающего ему определенные потребительские свойства [10,14-15]. В данной статье предлагается заменить часть какао-порошка кэробом, имеющим более высокую пищевую ценность [11,16] и меньшую калорийность.

Кэроб имеет сладкий и нежный вкус с нотами шоколада. Бисквит с кэробом является альтернативой традиционному шоколадному бисквиту, так как придает бисквиту приятную сладость и неповторимый аромат. Кэробом можно заменить до 30% какао-порошка без потери вкусовых качеств готового продукта [11,17-20].

**Цель работы** – разработка рецептуры и технологии производства бисквита шоколадного с пониженной калорийностью и приемлемой для употребления людьми, придерживающимися правильного питания.

## Материалы и методы

При разработке рецептуры бисквита шоколадного в качестве контрольного образца выбрана классическая рецептура и технология приготовления бисквита «Прага» из сборника рецептов на продукцию кондитерского питания «Сборник технических нормативов» под редакцией М.П. Могильного. Для производства бисквита шоколадного с пониженной калорийностью используется следующее сырье: смесь муки пшеничной высшего сорта с мукой кукурузной, сахарозаменитель «Prebiosweet», яблочные выжимки свежемороженые, смесь какао-порошка с кэробом, ванилин, разрыхлитель, растительное масло, вода питьевая с «Указаниями к рецептурам на кондитерские изделия по взаимозаменяемости сырья». При отработке рецептуры было разработано три модельных образца бисквита шоколадного со сниженной калорийностью. Количественное соотношение ингредиентов подбиралось экспериментально, с учетом качественных показателей: образец № 1 – классическая

рецептура бисквита «Прага»; образец № 2 – с заменой сахара на сахарозаменитель, яиц и масла сливочного на масло растительное; образец № 3 – с заменой сахара на сахарозаменитель, яиц и масла сливочного на масло растительное, части какао-порошка на кэроб; образец № 4 –

с заменой сахара на сахарозаменитель, яиц на яблочные выжимки и масло растительное, части какао-порошка на кэроб, части муки пшеничной высшего сорта на муку кукурузную. Рецептуры данных образцов представлены в таблице 1.

Рецептуры бисквитов шоколадных

Таблица 1.

Table 1.

Recipes of chocolate biscuits

| Ингредиент<br>Ingredient                                 | Количество сырья, вносимого в рецептуру |      |                            |      |                            |      |                            |      |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|
|                                                          | Образец № 1<br>Sample No. 1             |      | Образец № 2<br>Sample No.2 |      | Образец № 3<br>Sample No.3 |      | Образец № 4<br>Sample No.4 |      |
|                                                          | г, g                                    | %    | г, g                       | %    | г, g                       | %    | г, g                       | %    |
| Мука пшеничная высшего сорта  Wheat flour highest grade  | 237,6                                   | 17,5 | 115                        | 39,2 | 115                        | 39,2 | 75                         | 25,6 |
| Масло сливочное   Butter                                 | 78,4                                    | 5,8  | -                          | -    | -                          | -    | -                          | -    |
| Сахар   Sugar                                            | 309,8                                   | 22,8 | -                          | -    | -                          | -    | -                          | -    |
| Какао-порошок   Cocoa powder                             | 48,0                                    | 3,5  | 17                         | 5,8  | 10                         | 3,4  | 10                         | 3,4  |
| Яйца   Eggs                                              | 686,6                                   | 50,4 | -                          | -    | -                          | -    | -                          | -    |
| Мука кукурузная   Corn flour                             | -                                       | -    | -                          | -    | -                          | -    | 40                         | 13,6 |
| Масло растительное   Vegetable oil                       | -                                       | -    | 35                         | 12,0 | 35                         | 12,0 | 10                         | 3,4  |
| Яблочные выжимки   Apple squeezes                        | -                                       | -    | -                          | -    | -                          | -    | 20                         | 6,8  |
| Сахарозаменитель «Prebiosweet»   Sweetener «Prebiosweet» | -                                       | -    | 5                          | 1,7  | 5                          | 1,7  | 5                          | 1,7  |
| Разрыхлитель   Baking powder                             | -                                       | -    | 4                          | 1,4  | 4                          | 1,4  | 4                          | 1,4  |
| Ванилин   Vanillin                                       | -                                       | -    | 2                          | 0,7  | 2                          | 0,7  | 2                          | 0,7  |
| Кэроб   Carob                                            | -                                       | -    | -                          | -    | 7                          | 2,4  | 7                          | 2,4  |
| Вода питьевая   Drinking water                           | -                                       | -    | 115                        | 39,2 | 115                        | 39,2 | 115                        | 41,0 |
| Итого   Total                                            | 1360,4                                  | 100  | 293                        | 100  | 293                        | 100  | 293                        | 100  |

Контрольный образец бисквит «Прага» согласно «Сборника технических нормативов» под редакцией М.П. Могильного вырабатывается из пшеничной муки высшего сорта. Готовое изделие имеет круглую форму, гладкую тонкую верхнюю корочку золотисто-коричневого цвета, мякиш пористый, эластичный, коричневого цвета.

Желтки яиц растирают с 50% сахара, предусмотренного рецептурой, до полного растворения кристаллов сахара. Отдельно взбивают белки яиц. В конце взбивания добавляют оставшийся сахар. Взбитые белки и желтки смешивают. В яично-сахарную массу добавляют взбитое сливочное масло, предварительно подогретое до 30 °С, перемешивают до получения однородной массы, затем постепенно всыпают муку, смешанную с какао-порошком, и замешивают тесто. Тесто разливают в круглые формы, дно которых предварительно застилают бумагой. Продолжительность выпечки – 40–45 мин при температуре 205–225 °С. Выпеченный бисквит охлаждают в течение 20–30 мин, вынимают из форм и дают выстояться 8–10 ч при температуре 15–20 °С. После этого бумагу снимают, бисквит зачищают. Пищевая ценность на 100 г. продукта: калорийность – 323,28 ккал; белки – 11,59 г; жиры – 13,69 г; углеводы – 40,98 г.

Характеристика сырья проводится на основании нормативной документации (ГОСТов, ТУ и др.), действующей на данные продукты.

### Результаты и обсуждение

С заменой ингредиентов в рецептуре происходит изменение технологических операций и параметров приготовления бисквита. На рисунке 1 представлена технологическая схема приготовления бисквита шоколадного с пониженной калорийностью.

Приготовление бисквита шоколадного с пониженной калорийностью начинается с подготовки сырья. Подготовка муки заключается в составлении смеси муки пшеничной высшего сорта и кукурузной муки в соотношении 1:2, смешивании, просеивании, магнитной очистке смеси и ее взвешивании.

Чтобы отделить случайные посторонние частицы, отличающиеся по размеру от частиц муки, муку просеивают на просеивающих машинах, где смесь проходит через сита просеивателя, размер ячеек 0,3 мм. Для удаления из муки металлических частиц, проходящих через отверстия сита просеивателя, на мучных линиях предусматриваются магнитные уловители. После прохождения через просеиватель и магнитоуловитель смесь сыпается во внутрицевую маркированную тару и поступает в зону хранения добавок – сырья. Перед пуском в производство муку взвешивают.

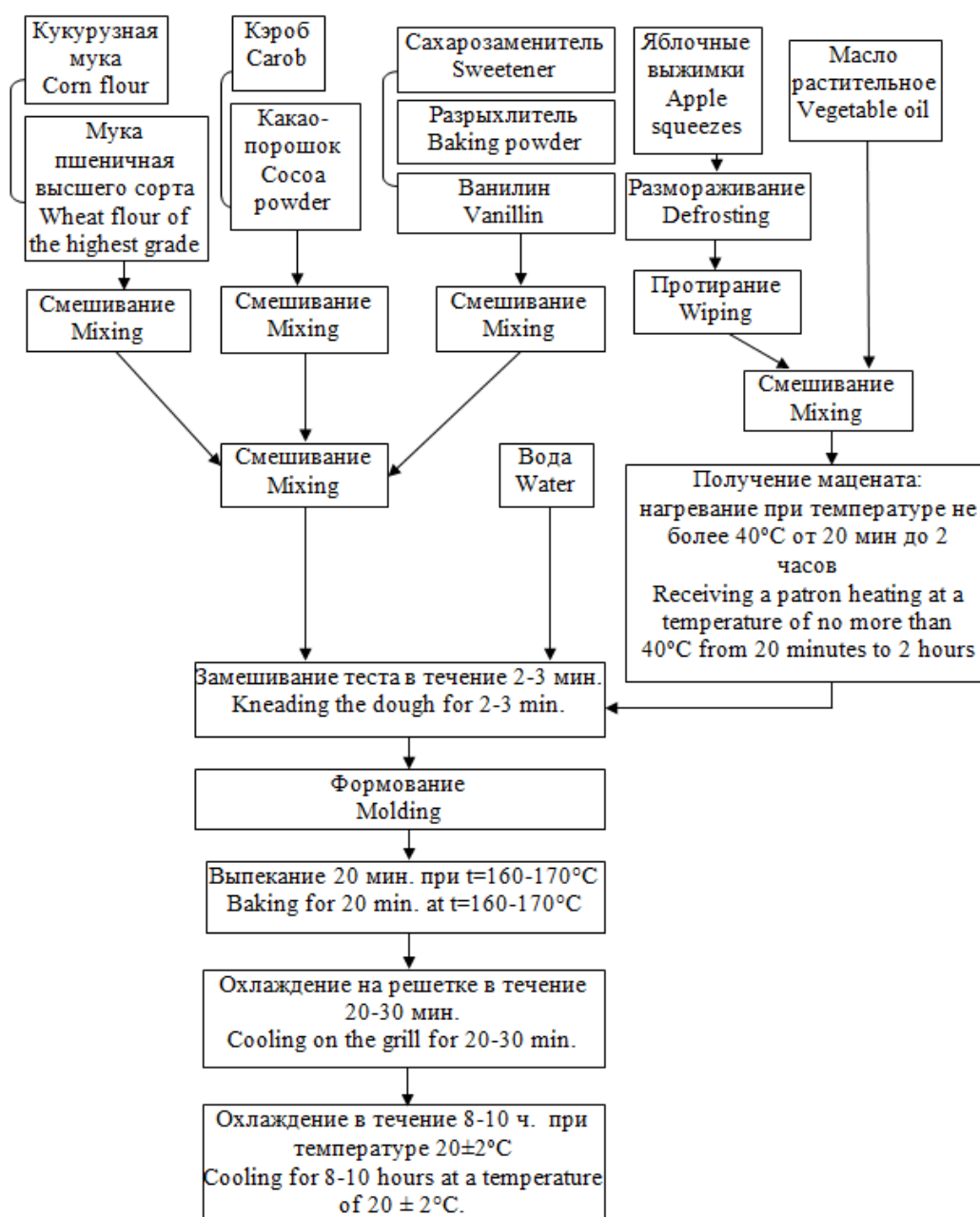


Рисунок 1. Технологическая схема приготовления бисквита шоколадного с пониженной калорийностью

Figure 1. Technological scheme for the preparation of a low-calorie chocolate sponge cake

Кэроб и какао-порошок смешиваются в соотношении 1:1,4 и просеиваются через сито для дальнейшего использования.

Яблочные выжимки поступают свежемороженными в брикетах. Яблочные выжимки подвергают разморозке при комнатной температуре, удаляют упаковку, протирают через сито на протирачной машине для удаления семян и перегородок.

Сухой сахарозаменитель предварительно просеивают через сито с ячейками диаметром 3 мм и пропускают через магниты. Так же готовят разрыхлитель и ванилин.

Приготовление теста для производства шоколадного бисквита.

Со склада хранения суточного запаса сырья в тестомесильное отделение поступает сырье. В процессе добавления сырья визуально оценивают качество сырья (цвет, консистенция, запах, отсутствие посторонних включений).

Смешивают сырье в два этапа. На первом этапе яблочные выжимки помещают в непрозрачную емкость заливают растительным маслом в пропорции 1:4,5, таким образом, чтобы яблочные выжимки были полностью покрыты

растительным маслом и его уровень превышал на 2–3 см. Емкость закрывают крышкой, помещают на водяную баню и нагревают. Температура получаемого мацерата из яблочных выжимок не должна превышать 40 °С для сохранения витаминов и других ценных веществ, содержащихся в яблочных выжимках. Нагревание производят в течение от 20 минут до 2 часов, уровень воды в водяной бане должен всегда быть от 3 до 5 см. Для лучшего извлечения активных веществ, получаемый мацерат необходимо периодически перемешивать.

Масла вытягивают (экстрагируют) полезные вещества из растительного сырья в данном случае из яблочных выжимок и концентрируют их в себе. Обычно это жирорастворимые активные компоненты, такие как каротиноиды, эфирные масла, фитостеролы. Для выделения активных веществ маслом, важными являются технологические режимы, то есть продолжительность и температура мацерации. Традиционно выделяют холодный способ мацерации и горячий.

При холодной мацерации растительное сырье настаивают маслом при комнатной температуре в течение длительного времени, такие режимы позволяют естественно и мягко извлечь целебный потенциал из растительного сырья.

Горячий способ более быстрый, позволяет получить масляный мацерат всего за несколько часов. При этом растительное сырье нагревается в масле в течение 2–3 часов. Сырье заливают растительным маслом, так чтобы оно на 2–3 см перекрывало, и было выше растительного сырья (яблочных выжимок), емкость должна быть не прозрачная, сверху накрывается крышкой и помещается в теплое место и выдерживается при температуре 32–40 °С. Периодически перемешивая, что позволяет лучше извлекать активные вещества. Для экстракции важна температура.

Преимущество горячего метода в скорости получения мацерата, по сравнению с холодным способом. К тому же нагрев позволяет испаряться воде, содержащейся в яблочных выжимках, а это исключает появление плесени. Недостатком является то, что нагрев масла с растительным сырьем может ухудшить их свойства, как известно, при нагревании многие витамины и ценные вещества погибают, поэтому нагрев осуществляется не более 40 °С.

На втором этапе осуществляют смешивание смеси из пшеничной муки высшего сорта и муки

кукурузной, смеси какао-порошка с кэробом, сахарозаменителя, ванилина, разрыхлителя до однородной консистенции. Готовая смесь должна быть равномерно перемешанной и без комочков.

Замешивают тесто, соединяя приготовленный мацерат, воду и сухую смесь перемешиванием в течение 2–3 минут на низких оборотах тестомесильной машины.

Готовое бисквитное тесто направляется на формование и выпечку, сначала перемещается в отделение выпечки, где осуществляется контроль влажности готового теста. Готовую массу отсаживают в кольца на листы, смазанные маслом, либо застланные бумагой и перемещают в печь. Выпекание осуществляют при температуре в камере 160–170 °С в течение 20 минут.

Бисквит шоколадный готов, когда середина у него не продавливается, при легком надавливании на него пальцем. Деревянная палочка при введении ее в центр должна быть влажной. Бисквит шоколадный должен быть сочным, слегка влажноватым изнутри.

После остывания формы, выпеченные бисквиты вынимают из форм и укладывают для выстаивания на решетку в течение 20–30 минут, а затем перемещают в зону охлаждения. Полуфабрикат охлаждается в течение 8–10 часов при температуре  $20 \pm 2$  °С.

### Заключение

В ходе разработки рецептуры и технологического процесса производства бисквита шоколадного с пониженной калорийностью были установлены следующие технологические параметры:

- исключена операция взбивания сливочного масла в связи с его заменой на растительное;

- с целью сохранения пищевой ценности и улучшения технологических свойств яблочного сырья была введена дополнительная операция по приготовлению мацерата яблочных выжимок на растительном масле, температура нагревания при его приготовлении не должна превышать 40 °С;

- в связи с заменой в рецептуре яиц на яблочные выжимки, которые обеспечивают связывание ингредиентов из-за наличия пектина, была исключена операция взбивания;

- продолжительность выпекания была сокращена в среднем на 20 мин. и снижена максимальная температура выпекания до 160–170 °С.

### Литература

- 1 Garvey E.C., O'Sullivan M.G., Kerry J.P., Kilcawley K.N. Aroma generation in sponge cakes: The influence of sucrose particle size and sucrose source // *Food Chemistry*. 2023. V. 417. P. 135860. doi:10.1016/j.foodchem.2023.135860
- 2 Garvey E.C., O'Sullivan M.G., Kerry J.P., Kilcawley K.N. Factors influencing the sensory perception of reformulated baked confectionary products // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. V. 60 (7). P. 1160–1188.
- 3 Пьяникова, Э.А. Разработка шкалы интенсивности дескрипторов для органолептической оценки "Брауни". Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 8. С. 92–96. doi:10.53859/02352451\_2022\_36\_8\_92
- 4 Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Тараторина О.С., Ткачева Е.Д. Технологические параметры производства и рецептура низкокалорийного полуфабриката "Брауни". // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2022. Т. 84, № 1(91). С. 105–111. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-105-111
- 5 Hedayati S., Jafari S.M., Babajafari S., Niakousari M. et al. Different food hydrocolloids and biopolymers as egg replacers: A review of their influences on the batter and cake quality. *Food Hydrocolloids*. 2022. V. 128. P. 107611. doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.107611
- 6 Cerón-Carrillo T. G., Morales-Paredes Y. R., Angélica S. Quality evaluation through sensory and image analysis of sponge cake crumb with three thermal egg pre-treatments // *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2021. V. 25. P. 100390. doi:10.1016/j.ijgfs.2021.100390
- 7 Рензеева Т.В., Тубольцева А.С., Рензеев А.О. Мука различных видов в технологии мучных кондитерских изделий // *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52. № 2. С. 407–416. doi:10.21603/2074-9414-2022-2-2373
- 8 Sukainah A., Lawa S., Putra R.P., Fadilah R. Proximate Analysis and Digestibility of Modified Corn Flour // *Current Nutrition & Food Science*. 2024. V. 20 (7). P. 857–864. doi:10.2174/1573401319666230822161209
- 9 Demchenko E.A., Savenkova T.V., Mizinchikova I.I. Effects of oils and fats on the quality characteristics, nutritional value, and storage capacity of cookies. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021. V. 51(4). P. 674-689. doi:10.21603/2074-9414-2021-4-674-689
- 10 Puchol-Miquel M., Palomares C., Fernández-Segovia I., Barat J.M. et al. Effect of the type and degree of alkalization of cocoa powder on the physico-chemical and sensory properties of sponge cakes // *LWT*. 2021. V. 152. P. 112241. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112241
- 11 Юзина С.С., Щелкова М.Д., Ушакова Ю.В., Рысмухамбетова Г.Е. Изучение аминокислотного состава безглютенового бисквита с кэробом. Новые технологии / *New technologies*. 2024. V. 20 (1). doi:10.47370/2072-0920-2024-20-1-63-71
- 12 Lisovska T., Stadnyk I., Piddubnyi V., Chorna N. Effect of extruded corn flour on the stabilization of biscuit dough for the production of gluten-free biscuit // *Ukrainian Food Journal*. 2020. V. 9. №. 1. P. 159-261.
- 13 Yusraini E., Lubis N. D. A. Partial properties of young corn flour based on particle size and its effect on texture and sensory acceptability of biscuit // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. // IOP Publishing. 2020. V. 454. №. 1. P. 012117.
- 14 Olayemi A. The Effect of Cocoa Powder and Banana Flour on the Chemical and Sensory Properties of Whole Wheat Based Biscuits // *Asric journal on agricultural sciences*. P. 1.
- 15 Souza F. N. S. Vieira S. R., Campidelli M. L. L., Rocha R. A. R et al. Impact of using cocoa bean shell powder as a substitute for wheat flour on some of chocolate cake properties // *Food Chemistry*. 2022. V. 381. P. 132215.
- 16 Papaefstathiou E., Agapiou A., Giannopoulos S., Kokkinofa R. Nutritional characterization of carobs and traditional carob products // *Food science & nutrition*. 2018. V. 6. №. 8. P. 2151-2161.
- 17 Pawłowska K., Kuligowski, M., Jasińska-Kuligowska, I., Kidoń, M. et al. Effect of replacing cocoa powder by carob powder in the muffins on sensory and physicochemical properties // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2018. V. 73. P. 196-202.
- 18 Loullis A., Pinakoulaki E. Carob as cocoa substitute: a review on composition, health benefits and food applications // *European Food Research and Technology*. 2018. V. 244. P. 959-977.
- 19 Papageorgiou M., Paraskevopoulou A., Pantazi F., Skendi A. Cake perception, texture and aroma profile as affected by wheat flour and cocoa replacement with carob flour // *Foods*. 2020. V. 9. №. 11. P. 1586
- 20 Higazy M., Eldiffrawy E., Zeitoun M., Shaltout O. et al. Nutrients of carob and seed powders and its application in some food products // *Journal of the Advances in Agricultural Researches*. 2018. V. 23. №. 1. P. 130-147.

### References

- 1 Garvey E.C., O'Sullivan M.G., Kerry J.P., Kilcawley K.N. Aroma generation in sponge cakes: The influence of sucrose particle size and sucrose source // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 417. 135860. doi:10.1016/j.foodchem.2023.135860
- 2 Garvey E.C., O'Sullivan M.G., Kerry J.P., Kilcawley K.N. Factors influencing the sensory perception of reformulated baked confectionary products // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. Vol. 60 (7). pp. 1160–1188.
- 3 Pyanikova, E.A., Kovaleva E.A., Pykhtin A.I. Development of the intensity scale of descriptors for the organoleptic assessment of "Brownie" // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2022. Vol. 36. no. 8. pp. 92–96. doi:10.53859/02352451\_2022\_36\_8\_92 (in Russian).
- 4 Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Taratorina O.S., Tkacheva E.D. Technological parameters of production and formulation of low-calorie semi-finished product "Brownie" // *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2022. Vol. 84. no. 1(91). pp. 105–111. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-105-111 (in Russian).

- 5 Hedayati S., Jafari S.M., Babajafari S., Niakousari M. et al. Different food hydrocolloids and biopolymers as egg replacers: A review of their influences on the batter and cake quality. // Food Hydrocolloids. 2022. Vol. 128. P. 107611. doi:10.1016/j.foodhyd.2022.107611
- 6 Cerón-Carrillo T. G., Morales-Paredes Y. R., Angélica S. Quality evaluation through sensory and image analysis of sponge cake crumb with three thermal egg pre-treatments // International Journal of Gastronomy and Food Science. 2021. Vol. 25. P. 100390. doi:10.1016/j.ijgfs.2021.100390
- 7 Renziaeva T.V., Tuboltseva A.S., Renziaev A.O. Flour of various types in the technology of flour confectionery products // Technique and technology of food production. 2022. Vol. 52. no. 2. pp. 407–416. doi:10.21603/2074-9414-2022-2-2373 (in Russian).
- 8 Sukainah A., Lawa S., Putra R.P., Fadilah R. Proximate Analysis and Digestibility of Modified Corn Flour // Current Nutrition & Food Science. 2024. Vol. 20 (7). pp. 857–864. doi:10.2174/1573401319666230822161209
- 9 Demchenko E.A., Savenkova T.V., Mizinchikova I.I. Effects of oils and fats on the quality characteristics, nutritional value, and storage capacity of cookies. Food Processing: Techniques and Technology. 2021. Vol. 51(4). pp. 674-689. doi:10.21603/2074-9414-2021-4-674-689
- 10 Puchol-Miquel M., Palomares C., Fernández-Segovia I., Barat J.M. et al. Effect of the type and degree of alkalization of cocoa powder on the physico-chemical and sensory properties of sponge cakes // LWT. 2021. Vol. 152. pp. 112241. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112241
- 11 Zyuzina S.S., Shchelkova M.D., Ushakova Yu. V., Rysmukhambetova G.E. The study of the amino acid composition of gluten-free sponge cake with carob. New technologies / New technologies. 2024. Vol. 20 (1). doi:10.47370/2072-0920-2024-20-1-63-71 (in Russian).
- 12 Lisovska T., Stadnyk I., Piddubnyi V., Chorna N. Effect of extruded corn flour on the stabilization of biscuit dough for the production of gluten-free biscuit // Ukrainian Food Journal. 2020. Vol. 9. no. 1. pp. 159-261.
- 13 Yusraini E., Lubis N. D. A. Partial properties of young corn flour based on particle size and its effect on texture and sensory acceptability of biscuit // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2020. Vol. 454. no. 1. pp. 012117.
- 14 Olayemi A. The Effect of Cocoa Powder and Banana Flour on the Chemical and Sensory Properties of Whole Wheat Based Biscuits // Asric journal on agricultural sciences. pp. 1.
- 15 Souza F. N. S. Vieira, S. R., Campidelli, M. L. L., Rocha, R. A. R. et al. Impact of using cocoa bean shell powder as a substitute for wheat flour on some of chocolate cake properties // Food Chemistry. 2022. Vol. 381. pp. 132215.
- 16 Papaefstathiou E. Agapiou, A., Giannopoulos, S., Kokkinofa, R et al. Nutritional characterization of carobs and traditional carob products // Food science & nutrition. 2018. Vol. 6. no. 8. pp. 2151-2161.
- 17 Pawłowska K. Kuligowski, M., Jasińska-Kuligowska, I., Kidoń, M. et al. Effect of replacing cocoa powder by carob powder in the muffins on sensory and physicochemical properties // Plant Foods for Human Nutrition. 2018. Vol. 73. pp. 196-202.
- 18 Loullis A., Pinakoulaki E. Carob as cocoa substitute: a review on composition, health benefits and food applications // European Food Research and Technology. 2018. Vol. 244. pp. 959-977.
- 19 Papageorgiou M. Paraskevopoulou, A., Pantazi, F., & Skendi, A et al. Cake perception, texture and aroma profile as affected by wheat flour and cocoa replacement with carob flour // Foods. 2020. Vol. 9. no. 11. pp. 1586.
- 20 Higazy M. ElDifrawy, E., Zeitoun, M., Shaltout, O. et al. Nutrients of carob and seed powders and its application in some food products // Journal of the Advances in Agricultural Researches. 2018. Vol. 23. no. 1. pp. 130-147.

#### Сведения об авторах

**Анна Е. Ковалева** к.х.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, a.e.kovaleva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7807-1755>

**Эльвира А. Пьяникова** к.т.н., доцент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, alia1969@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4424-7323>

**Оксана В. Евдокимова** д.т.н., профессор, кафедра анатомии, физиологии и хирургии, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия, evdokimova\_oxana@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0393-2327>

**Анна Е. Павлова** студент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, Россия, aepavlovaee@gmail.com

#### Information about authors

**Anna E. Kovaleva** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, a.e.kovaleva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7807-1755>

**Elvira A. Pyanikova** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, alia1969@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4424-7323>

**Oksana V. Evdokimova** Doctor of Technical Sciences, Department of Anatomy, Physiology and Surgery, Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Generala Rodina str., 69, Orel, 302019, Russia, evdokimova\_oxana@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0393-2327>

**Anna E. Pavlova** student, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, aepavlovaee@gmail.com

**Екатерина Е. Павлова** студент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, Россия, pavlova.ekaterina0902@gmail.com

**Ekaterina E. Pavlova** student, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040 Russia, pavlova.ekaterina0902@gmail.com

#### **Вклад авторов**

**Анна Е. Ковалева** написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат  
**Эльвира А. Пьяникова** консультация в ходе исследования  
**Оксана В. Евдокимова** предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания  
**Анна Е. Павлова** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты  
**Екатерина Е. Павлова** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Contribution**

**Anna E. Kovaleva** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism  
**Elvira A. Pyanikova** consultation during the study  
**Oksana V. Evdokimova** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations  
**Anna E. Pavlova** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism  
**Ekaterina E. Pavlova** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

|                             |                                       |                                    |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Поступила 23/10/2024</b> | <b>После редакции 22/11/2024</b>      | <b>Принята в печать 28/11/2024</b> |
| <b>Received 23/10/2024</b>  | <b>Accepted in revised 22/11/2024</b> | <b>Accepted 28/11/2024</b>         |

## Сравнительная оценка экономической эффективности проекта по производству начинок из плодов и ягод дикорастущих растений в Кемеровской области

|                                   |                                                                |                                                                                                         |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Александр С. Назимов <sup>1</sup> | <a href="mailto:nazimov1979@ya.ru">nazimov1979@ya.ru</a>       |  0000-0002-5817-4535 |
| Дмитрий С. Назимов <sup>2</sup>   | <a href="mailto:nazimov2014@bk.ru">nazimov2014@bk.ru</a>       |  0009-0000-4029-9412 |
| Олег К. Мотовилов <sup>2</sup>    | <a href="mailto:motovilovok@sfsca.ru">motovilovok@sfsca.ru</a> |  0000-0003-2298-3549 |

1 Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, ул. Весенняя, 28, г. Кемерово, 650000, Россия

2 Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, ул. Центральная, 26, Краснообск, 630501, Россия

**Аннотация.** Существенный вклад в обеспечение продовольственной безопасности нашей страны может внести хозяйственная деятельность, связанная со сбором, заготовкой и переработкой особо востребованного в пищевой промышленности сырья в виде плодов и ягод дикорастущих растений. В статье рассматривается подход к автоматизированной оценке экономической эффективности проектов предприятий малого и среднего бизнеса по производству фруктовых начинок. Предложенный подход включает сравнительный анализ результатов деятельности производственных предприятий на разных видах плодово-ягодного сырья по показателю чистой приведенной стоимости (NPV). Для оценки эффективности подобных проектов они представляются как классические инвестиционные, продукцией в которых являются фруктовые начинки на разных видах плодово-ягодного сырья. Для автоматизированной оценки экономической эффективности использовался финансово-аналитический программный комплекс «Карма». В качестве примера приведены расчетные графические зависимости NPV от горизонта планирования для разных видов фруктовых начинок, производимых на специально подобранном для этих задач оборудовании, с учетом рыночного спроса на них. Сравнительный анализ результатов вычислительного эксперимента по показателю NPV проекта показал, что более выгодным является производство фруктовых начинок на более дорогом плодово-ягодном сырье. При производстве фруктовых начинок в реальных условиях оценку экономической эффективности необходимо скорректировать, для этого произведен ее расчет при усредненных показателях цены готового изделия, трудоемкости и материалоемкости, который показал уменьшение NPV проекта по сравнению с проектом производства начинки только из более дорого порошкового сырья, но не более чем на 25%. Рассмотренный в статье подход к оценке экономической эффективности предприятий малого и среднего бизнеса по производству фруктовых начинок из плодово-ягодного сырья дикорастущих растений позволяет адаптировать его для многих предприятий пищевой промышленности, производящих продукцию из других видов сырья.

**Ключевые слова:** продовольственная безопасность, производство начинок, экономическая эффективность, сравнительная оценка (анализ) эффективности проекта, рыночный спрос.

## Comparative assessment of the economic efficiency of the project for the production of fillings from fruits and berries of wild plants in the Kemerovo region

|                                  |                                                                |                                                                                                           |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alexandr S. Nazimov <sup>1</sup> | <a href="mailto:nazimov1979@ya.ru">nazimov1979@ya.ru</a>       |  0000-0002-5817-4535 |
| Dmitriy S. Nazimov <sup>2</sup>  | <a href="mailto:nazimov2014@bk.ru">nazimov2014@bk.ru</a>       |  0009-0000-4029-9412 |
| Oleg K. Motovilov <sup>2</sup>   | <a href="mailto:motovilovok@sfsca.ru">motovilovok@sfsca.ru</a> |  0000-0003-2298-3549 |

1 Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Vesennaya Street, 28, Kemerovo, 650000, Russia

2 Siberian Federal scientific center of agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Tsentralnaya Street, 2b, Krasnoobsk, 630501, Russia

**Abstract.** A significant contribution to the food security of our country can be provided by economic activities related to the harvesting and processing of fruits and berries from wild plants which are especially in demand in the food industry. The article is considered to an approach to the automated assessment of the economic efficiency of projects in small and medium-sized businesses for the production of fruit fillings. The proposed approach includes a comparative analysis of products from different Production using different fruit and berry raw materials in terms of net present value (NPV). The projects are presented as classic investment projects, the products are fruit fillings based on different types of fruit and berry raw materials, and their evaluation is carried out. The financial and analytical software package "Karma" was used for automatized assessment of economic efficiency. As an illustration, the calculation of graphical NPV dependencies on the planning horizon for different types of fruit fillings produced on special equipment, taking into account market demand for them, is given. A comparative analysis of the computational experiment on the NPV indicator showed that the production of fruit fillings on more expensive fruit and berry raw materials is more profitable. In the production of fruit fillings in real conditions, the cost-effectiveness assessment needs to be corrected. For this purpose, economic efficiency with average indicators of price, labor intensity and material consumption were calculated. The estimation showed a decrease in the NPV of the project compared to a project made from more expensive powder raw materials, but by no more than 25%. This approach to assessing the economic efficiency of food processing enterprises producing fruit fillings from fruit and berry raw materials from wild plants allows it to be adapted for many food processing enterprises that produce products from other types of raw materials.

**Keywords:** food security, production of fillings, economic efficiency, comparative assessment (analysis) of project efficiency, market demand.

Для цитирования

Назимов А.С., Назимов Д.С., Мотовилов О.К. Сравнительная оценка экономической эффективности проекта по производству начинок из плодов и ягод дикорастущих растений в Кемеровской области // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 163–170. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-163-170

For citation

Nazimov A.S., Nazimov D.S., Motovilov O.K. Comparative assessment of the economic efficiency of the project for the production of fillings from fruits and berries of wild plants in the Kemerovo region. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 163–170. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-163-170

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Значительная часть территории Кемеровской области (около 65 процентов площади) занята лесами и кустарниками. В лесах не редко можно встретить пищевые дикорастущие ягодные растения, относящиеся к классам кустарнички, кустарники и полукустарники [1]. Плоды и ягоды дикорастущих растений содержат почти все необходимые компоненты пищи (витамины, углеводы, белки, жиры, минеральные соли и воду), которые по качественным и количественным характеристикам, не уступают аналогичным культурным растениям, а в некоторых случаях, и превосходят их [2–5].

Большой потенциал дикорастущие растения представляют для пищевой промышленности с точки зрения производства продуктов питания богатых витаминами, микроэлементами и питательными веществами, полезными для организма человека [6–11]. Дикорастущие растения могут быть использованы в качестве альтернативного или дополнительного источника пищевых продуктов, а также для селекции культурных видов растений.

Для выращивания дикорастущих растений не требуется уход, а для получения урожая достаточно осуществить сбор их плодов и ягод в период созревания и предусмотреть логистику до перерабатывающих предприятий.

В пищевой промышленности при производстве плодово-ягодных начинок используются плоды и ягоды дикорастущих растений: черемуха, черника, боярышник, клюква, брусника, земляника, калина, малина, облепиха, рябина, шиповник и др.

Однако, несмотря на обилие и доступность пищевых дикорастущих растений в регионе продукты и полуфабрикаты на их основе распространены не значительно в силу отсутствия достаточных производственных сил и мощностей для их сбора, хранения и переработки.

Таким образом, для обеспечения продовольственной безопасности нашей страны существенный вклад могут внести сборы и заготовка особо востребованного в пищевой промышленности сырья в виде плодов и ягод дикорастущих растений.

Развитие предприятий малого и среднего бизнеса по переработке сырья дикорастущих растений в готовый продукт в значительной мере сдерживают периодические колебания их урожая, не равномерная нагрузка на производственные мощности в течение года, а также дефицит отечественного программного инструментария и методик для прогнозной автоматизированной оценки экономической эффективности их деятельности в условиях неопределенности

спроса и предложения на исходное сырье и готовый продукт на внутреннем и внешнем рынках.

## Материалы и методы

Начинки из плодово-ягодного сырья используются в различных отраслях пищевой промышленности: хлебопекарной, кондитерской, молочной и других [12–14].

Согласно Общероссийскому классификатору продукции по видам экономической деятельности (ОКПД 2), продукты переработки плодово-ягодного сырья относятся к группе товаров 10.39 «Фрукты, овощи и грибы переработанные и консервированные, не включенные в другие группировки».

Широкий ассортимент продуктов переработки плодово-ягодного сырья и терминология в его отношении регламентируется нормативной базой межгосударственных, национальных стандартов, стандартов и документов предприятий и отраслевых документов.

Пюре, подварки, припасы, пасты, варенье, джемы, конфитюры, желе, повидло, наполнители и начинки являются традиционными продуктами переработки плодово-ягодного сырья, применяющимися для производства пищевой продукции [15].

Согласно национального стандарта ГОСТ Р 52467–2005 «Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Термины и определения», начинки и наполнители относятся к полуфабрикатам, предназначенным для дальнейшей переработки. Пюре, пасты, варенье, желе, повидло и джемы могут выступать как в роли полуфабрикатов, так и в качестве готовой продукции, предназначенной для непосредственного употребления [16].

ГОСТ Р 53041–2008 «Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. Термины и определения» расширяет перечень полуфабрикатов на основе плодово-ягодного сырья фруктовой массой, фруктово-желейной массой, фруктовой помадной массой, пастильной массой, мармеладной массой и фруктово-сбивной массой, которые готовятся непосредственно в условиях производства основной продукции и не являются товарными продуктами [17].

Перечисленные виды продукции вырабатываются по техническим условиям (ТУ), стандартам организаций (СТО), а также соответствующих государственных стандартов. Отличительными признаками, используемыми при идентификации продуктов переработки плодово-ягодного сырья являются: консистенция, состояние плодов и ягод или их частей, наличие красителей, консервантов, массовая доля фруктовой части, массовая доля растворимых сухих веществ и массовая доля примесей растительного происхождения.

Отличаются и технологии переработки плодов и ягод при производстве различных видов полуфабрикатов и продукции на их основе.

Потребность в начинках для предприятий пищевой промышленности Российской Федерации составляет около 1 млн. тонн в год. Наибольший интерес представляют плодово-ягодные начинки. Согласно стандартизованных терминов и определений фруктовые начинки – это полуфабрикаты, изготовленные из свежих, быстрозамороженных, сушеных или консервированных химическими консервантами фруктов или смеси фруктов, подготовленных в соответствии с установленной технологией, путем уваривания с сахаром или сахарами и / или сахарозаменителями, подсластителями, с добавлением или без добавления пектина, желирующих веществ, загустителей, стабилизаторов консистенции, пищевых органических кислот, пряностей и других пищевых ингредиентов, пищевых красителей, пищевых ароматизаторов и консервантов, представляющий собою густую массу.

В зависимости от используемого сырья, начинки могут быть однородными (с жидкой и тонко измельченной твердой фазой) и гетерогенными (с жидкой и твердой фазой в виде целых или нарезанных фруктов, плодов или ягод).

В зависимости от использованных добавок начинки могут быть термостабильными.

Показатели качества начинок регламентирует межгосударственный стандарт ГОСТ 32741–2014 «Полуфабрикаты. Начинки и подварки фруктовые и овощные. Общие технические условия» [18].

В технологии производства плодово-ягодных начинок основными стадиями являются: подготовка сырья, уваривание, упаковывание, охлаждение, укупоривание.

Подготовка сырья зависит от его физического состояния: замороженное сырье дефростируют, свежие и сушеные плоды и ягоды моют водой и инспектируют до полного удаления всех загрязнений. Сушеные плоды и ягоды дополнительно измельчаются.

Подготовленное плодово-ягодное сырье уваривается до заданного значения массовой доли растворимых сухих веществ. Если предполагается изготовление однородных начинок, то дополнительно проводится его протирка. Упаковывание осуществляется в транспортную тару, которую после охлаждения начинки укупоривают.

В статье рассмотрен процесс изготовления фруктовых начинок на основе сухих ягодных порошков. Рыночная стоимость фруктовых

начинок зависит от стоимости составляющих ее компонентов (1).

$$\text{ЦФН} = K_a \cdot (\text{ЦОФН} + \text{ЦДС} + \text{ЦЯП}) \quad (1)$$

где  $K_a$  – коэффициент, учитывающий все затраты на изготовление продукции и издержки, связанные с продажей товара; ЦФН – рыночная цена фруктовой начинки; ЦОФН – рыночная цена основы фруктовой начинки (яблочное пюре, жиры и др.); ЦДС – рыночная цена дополнительного сырья (сахар, патока, консерванты, лимонная кислота и др.); ЯП – рыночная цена ягодного порошка.

На основе ценового анализа рецептур фруктовых начинок было установлено, что доля стоимости ягодного порошка составляет 25% от общей стоимости фруктовой начинки.

Для сравнительной оценки экономической эффективности деятельности предприятия по производству кондитерских начинок на порошковой основе приведена ориентировочная рыночная стоимость ягодных порошков и начинок на их основе (таблица 1).

В условиях неопределенности цен на сырье для производства фруктовых начинок, зависящих от сезонности, урожая и других факторов, особо актуальным является оперативное прогнозирование основных экономических показателей проекта (чистой приведенной стоимости проекта). В этом случае необходима сравнительная оценка экономической эффективности коммерческой деятельности по производству фруктовых начинок на различных ягодных порошках.

В качестве основных производственных фондов (ОПФ) для коммерческой деятельности по производству фруктовых начинок рассмотрено оборудование на основе многофункциональных миксеров УЗЕРМАК, обладающих функциями смешивания, измельчения, гомогенизации, эмульгирования, варки под прямым паром и через паровую рубашку, вакуумирования и охлаждения [19];

В качестве оборотных производственных средств (ОПС) рассматриваются следующие составляющие:

транспортные услуги для организации обслуживания предприятия по производству фруктовых начинок;

услуги аренды производственных и складских помещений.

Для расчетов экономической эффективности деятельности по производству фруктовых начинок допустим следующие ограничения, которые касаются его ОПФ и ОПС.

Стоимость оборудования для производства фруктовых начинок – 6000000 руб.

Срок службы ОПФ – 15 лет.

Максимальная производительность ОПФ составляет 16200 кг начинки в месяц.

Усредненные месячные затраты на транспортные услуги составляют 10000 руб./месяц.

Усредненные месячные затраты на фонд оплаты труда рабочих составляют 250000 руб./месяц.

Спрос в денежном выражении на готовую продукцию 125 000 000 руб./месяц.

Параметры трудоемкости и материалоемкости зависят от вида ягодного порошка, используемого для приготовления начинки, и представлены в таблице 2.

Таблица 1.

Стоимость ягодных порошков и начинок на их основе

Table 1.

Cost of berry powders and fillings

| Наименование<br>Type of berry powder                                        | Стоимость 1 кг ягодного порошка, руб.<br>Cost of 1 kg of berry powders, rub. | Стоимость<br>1 кг готового продукта (начинки), руб.<br>Cost of 1 kg of the<br>finished product (filling), rub. |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Черемуха сушеная порошковая<br>Dried powdered cherry                        | 2005                                                                         | 240,6                                                                                                          |
| Клюква сушеная порошковая<br>Dried cranberry powder                         | 1900                                                                         | 228                                                                                                            |
| Вишня сушеная порошковая<br>Cherry powdered dried                           | 1770                                                                         | 212,4                                                                                                          |
| Черника сушеная порошковая<br>Dried blueberries powdered                    | 1660                                                                         | 199,2                                                                                                          |
| Черная смородина (порошок)<br>Blackcurrant (powder)                         | 1550                                                                         | 186                                                                                                            |
| Малина сушеная молотая<br>Ground dried raspberries                          | 1520                                                                         | 182,4                                                                                                          |
| Клубника сушеная (порошок)<br>Dried strawberries (powder)                   | 1229                                                                         | 147,48                                                                                                         |
| Черноплодная рябина сушеная порошковая<br>Dried powdered black rowanberries | 1050                                                                         | 126                                                                                                            |

Таблица 2.

Параметры трудоемкости и материалоемкости

Table 2.

Parameters of labor intensity and material consumption

| Вид начинки<br>Type of berry powder                      | Трудоемкость, B1<br>Labor intensity, B1 | Материалоемкость, P1<br>Material consumption, P1 |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Черемуха сушеная порошковая<br>Dried powdered cherry     | 0,090173884                             | 0,573176949                                      |
| Клюква сушеная порошковая<br>Dried cranberry powder      | 0,092910093                             | 0,560225561                                      |
| Вишня сушеная порошковая<br>Cherry powdered dried        | 0,096536825                             | 0,543059028                                      |
| Черника сушеная порошковая<br>Dried blueberries powdered | 0,099834302                             | 0,527450972                                      |
| Черная смородина порошковая<br>Blackcurrant powdered     | 0,069396073                             | 0,671525255                                      |
| Малина сушеная порошковая<br>Raspberry powdered dried    | 0,104372                                | 0,505974                                         |
| Клубника сушеная порошковая<br>Strawberry powdered dried | 0,11526029                              | 0,454434626                                      |
| Рябина сушеная порошковая<br>Powdered dried rowan        | 0,123164035                             | 0,417023569                                      |

## Результаты

Для рассматриваемого в статье вида коммерческой деятельности продукцией являются фруктовые начинки из плодов и ягод дикорастущих растений, что подразумевает оценку экономической эффективности проекта, включающую сравнительный анализ результатов деятельности предприятия по показателю чистой приведенной стоимости.

Для оценки экономической эффективности коммерческой деятельности использовался автоматизированный программный комплекс «Карма».

Данный программный комплекс основан на решении оптимизационной задачи бизнес-планирования на основе модели оценки экономической эффективности инвестиционных проектов [20-22], и позволяет определять экономический потенциал от разных видов

деятельности в сфере производства товаров по критерию максимизации чистой приведенной стоимости (NPV) проекта.

Для сравнительного анализа в результате числового экономического эксперимента получены зависимости NPV проекта от горизонта планирования (рисунок 1) для фруктовых начинок из таблиц 1, 2.

Для предприятия, производящего ассортимент фруктовых начинок, получена зависимость NPV проекта от горизонта планирования (рисунок 2) с усредненными показателями: цены готового изделия (190 руб.), трудоемкости и материалоемкости (0,1 и 0,51 соответственно) из таблиц 1, 2.

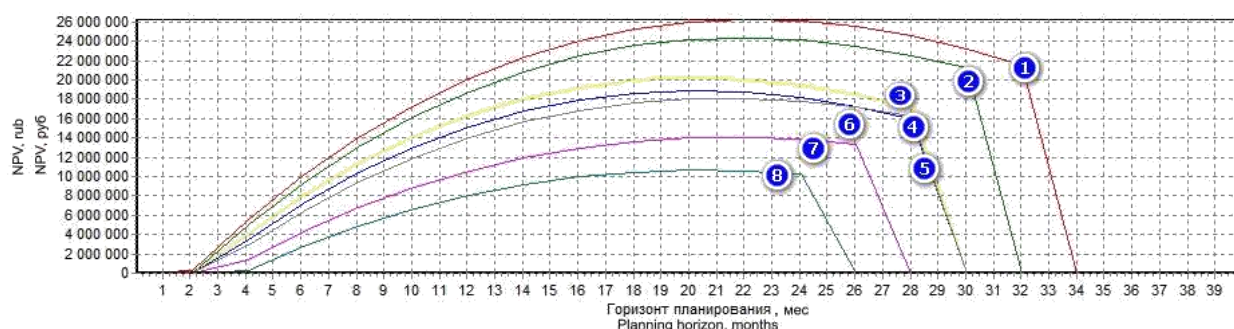


Рисунок 1. Зависимости NPV проекта от горизонта планирования для разных видов фруктовой начинки: 1 – черемуха сушеная порошковая; 2 – клюква сушеная порошковая; 3 – вишня сушеная порошковая; 4 – черника сушеная порошковая; 5 – черная смородина порошковая; 6 – малина сушеная молотая; 7 – клубника сушеная порошковая; 8 – черноплодная рябина сушеная порошковая

Figure 1. NPV dependencies of the project on the planning horizon for different types of fruit filling: 1 – dried bird cherry powder; 2 – dried cranberry powder; 3 – dried cherry powder; 4 – dried blueberry powder; 5 – black currant powder; 6 – dried ground raspberry; 7 – dried strawberry powder; 8 – dried chokeberry powder

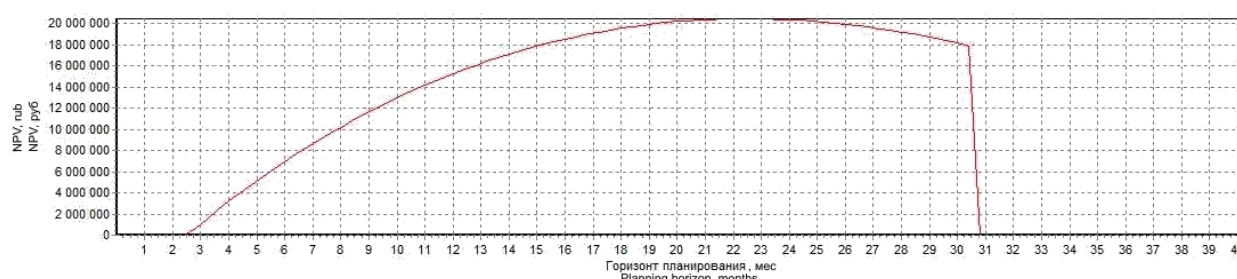


Рисунок 2. Зависимость NPV проекта от горизонта планирования при производстве ассортимента фруктовых начинок

Figure 2. NPV dependence of the project on the planning horizon in the production of a range of fruit fillings

Приведенные расчеты показывают, что показатель экономической эффективности (чистая приведенная стоимость проекта) для коммерческой деятельности по производству фруктовых начинок дают максимальные результаты на начинках, производство которых основано на порошковом сырье с более высокой себестоимостью, что в конечном итоге, отражается на конечной стоимости начинки и на чистой приведенной стоимости проекта (рисунок 1).

Однако необходимо учитывать нестабильность рынка плодово-ягодного сырья для производства фруктовых начинок и конъюнктуру рынка сырья и готовой продукции. В этом случае необходимо предусмотреть возможность работы предприятия в условиях, когда более

дорогое порошковое сырье (например, ягоды и плоды черемухи) может быть частично или полностью заменено другим более доступным на рынке в данный момент при сохранении объемов производства готовой продукции, что в свою очередь окажет влияние на показателях экономической эффективности проекта (рисунок 2).

### Обсуждение

В статье представлены расчеты экономической эффективности проекта по производству фруктовых начинок из плодов и ягод дикорастущих растений Кемеровской области.

Вычислительные эксперименты показали, что производство фруктовых начинок на рассмотренных в статье основных производственных

фондах общей стоимостью 6000000 руб. и плодово-ягодном сырье дают максимальные результаты по показателю чистой приведенной стоимости проекта в диапазоне 10–26 млн руб. на горизонте планирования в диапазоне 20–24 месяца.

Сравнительный анализ результатов вычислительного эксперимента по показателю чистой приведенной стоимости проекта, показал, что более выгодным является производство фруктовых начинок на более дорогом плодово-ягодном сырье.

Оценку экономической эффективности для производства фруктовых начинок в реальных условиях необходимо скорректировать, для этого произведен ее расчет при усредненных показателях цены готового изделия, трудоемкости и материалоемкости, который показал

уменьшение чистой приведенной стоимости проекта по сравнению с проектом производства начинки только из более дорого порошкового сырья (например, ягоды и плоды черемухи), но не более чем на 25%.

### Заключение

Рассмотренный в статье подход к оценке экономической эффективности предприятий малого и среднего бизнеса по производству фруктовых начинок из плодово-ягодного сырья дикорастущих растений, включающий сравнительный анализ результатов деятельности по показателю чистой приведенной стоимости проекта, позволяет адаптировать его для многих предприятий пищевой промышленности, производящих продукцию из других видов сырья.

### Литература

- 1 Намзалов Б.Б., Будажапов Л.В., Намзалов Б.Ц. Этноботанические исследования дикоросов южной Сибири: научный ресурс, оценка и перспектива // Труды международной науч. онлайн-конф. «Агронаука 2020», Новосибирск, 5–6 ноября, 2020 г. С. 65–69.
- 2 Klavins L., Maaga I., Bertins M., Hykkerud A.L. et al. Trace element concentration and stable isotope ratio analysis in blueberries and bilberries: A tool for quality and authenticity control // *Foods*. 2021. V. 10. № 3. P. 567.
- 3 Naguman P. N., Zhorabek A.A., Amanzholova A.S., Kulakovet I.V. al. Phytoncides in the composition of common bird cherry // *Известия НАН РК. Серия химии и технологии*. 2021. № 3. P. 71–75.
- 4 Siejak P., Neunert, G., Smulek, W., Polewski, K. Impact of Bird Cherry (*Prunus padus*) Extracts on the Oxidative Stability of a Model O/W Linoleic Acid Emulsion // *Applied Sciences*. 2023. V. 13. № 17. P. 9560.
- 5 Telichowska A., Kobus-Cisowska J., Szulc P. Phytopharmacological possibilities of bird cherry *Prunus padus* L. and *Prunus serotina* L. species and their bioactive phytochemicals // *Nutrients*. 2020. V. 12. № 7. P. 1966.
- 6 Батищева Н. В., Петрова Г.Н. Производство пастильных кондитерских изделий с использованием полуфабрикатов из ягод, фруктов и овощей // *Парадигма*. 2023. № 2-1. С. 24–28.
- 7 Николаева М. А., Крохалева А.В. Анализ состояния и перспектив развития рынка фруктово-ягодных изделий // *Товаровед продовольственных товаров*. 2020. № 9. С. 37–42.
- 8 Bento de Carvalho T., Silva B.N., Tomé E., Teixeira P. Preventing fungal spoilage from raw materials to final product: Innovative preservation techniques for fruit fillings // *Foods*. 2024. V. 13. № 17. P. 2669
- 9 Alam M., Pant K., Brar D. S., N. Dar B. et al. Exploring the versatility of diverse hydrocolloids to transform techno-functional, rheological, and nutritional attributes of food fillings // *Food Hydrocolloids*. 2024. V. 146. P. 109275. doi:10.1016/j.foodhyd.2023.109275
- 10 Łysiak G. P., Szot I. The Possibility of Using Fruit-Bearing Plants of Temperate Climate in the Treatment and Prevention of Diabetes // *Life*. 2023. V. 13. № 9. P. 1795.
- 11 Teslić N., Kojić J., Đermanović B., Šarić L. et al. Sour cherry pomace valorization as a bakery fruit filling: Chemical composition, bioactivity, quality and sensory properties // *Antioxidants*. 2023. V. 12. № 6. P. 1234.
- 12 Vukoja J., Buljeta I., Ivić I., Šimunović J. et al. Disaccharide type affected phenolic and volatile compounds of citrus fiber-blackberry cream fillings // *Foods*. 2021. V. 10. № 2. P. 243.
- 13 Pakulska A., Kawecka L., Galus S. Physical Properties of Selected Fruit Fibre and Pomace in the Context of Their Sustainable Use for Food Applications // *Applied Sciences*. 2024. V. 14. № 19. P. 9051.
- 14 Majerska J., Michalska A., Figiel A. A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by products // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. № 88. P. 207–219. doi:10.1016/j.tifs.2019.03.021
- 15 Назимов Д.С., Мотовилов О.К. Перспективы применения дикорастущих плодов и ягод Сибирского региона в производстве начинок // *Кузбасс: образование, наука, инновации: Материалы XI Инновационного конвента, Кемерово, 08 февраля 2023 г.* С. 170–173.
- 16 ГОСТ Р 52467–2005. Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Термины и определения. Москва: Стандартинформ, 2020. 15 с.
- 17 ГОСТ Р 53041–2008. Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. Термины и определения. Москва: Стандартинформ, 2019. 16 с.
- 18 ГОСТ 32741–2014. Полуфабрикаты. Начинки и подварки фруктовые и овощные. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019. 9 с.
- 19 Оборудование для пищевой промышленности Uzermak. URL: <https://uzermak.ru/catalog/ccm110.html>
- 20 Медведев А.В. Система поддержки принятия инвестиционных решений при оценке эффективности инновационных проектов // *Научное обозрение. Экономические науки*. 2023. № 3. С. 16–20.

21 Медведев А.В., Семенкин Е.С. Информационно-аналитическая система оперативной экспертной поддержки принятия решений при управлении социально-экономическим развитием предприятий и территорий // Здоровье - основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2021. № 4. С. 1548–1557.

22 Назимов А.С., Романенко А.М., Созинов С.А. Комплексная оценка экономической эффективности проекта по развитию активных видов спорта и отдыха на воде в Кемеровской области // Вестник алтайской академии экономики и права. 2022. № 9-3. С. 382–389.

### References

1 Namzalov B.B., Budazhzhapov L.V., Namzalov B.T. Ethnobotanical studies of wild plants of southern Siberia: scientific resource, assessment and prospects // Proceedings of the international scientific online conference «Agroscience 2020», Novosibirsk, November 5–6. 2020. pp. 65–69. (in Russian).

2 Klavins L., Maaga I., Bertins M., Hykkerud A.L. et al. Trace element concentration and stable isotope ratio analysis in blueberries and bilberries: A tool for quality and authenticity control // Foods. 2021. Vol. 10. no. 3. pp. 567.

3 Naguman P. N., Zhorabek A.A., Amanzholova A.S., Kulakovet I.V. et al. Phytoncides in the composition of common bird cherry // Известия НАН РК. Серия химии и технологии. 2021. no. 3. pp. 71-75.

4 Siejak P., Neunert, G., Smulek, W., Polewski, K. Impact of Bird Cherry (*Prunus padus*) Extracts on the Oxidative Stability of a Model O/W Linoleic Acid Emulsion // Applied Sciences. 2023. Vol. 13. no. 17. pp. 9560.

5 Telichowska A., Kobus-Cisowska J., Szulc P. Phytopharmacological possibilities of bird cherry *Prunus padus* L. and *Prunus serotina* L. species and their bioactive phytochemicals // Nutrients. 2020. Vol. 12. no. 7. pp. 1966.

6 Batishcheva, N. V., Petrova G.N. Production of pastille confectionery products using semi-finished products from berries, fruits and vegetables // Paradigm. 2023. no. 2-1. pp. 24-28. (in Russian).

7 Nikolaeva M. A., Krokhaeva A. V. Analysis of the state and development prospects of the fruit and berry products market // Food commodity expert. 2020. no. 9. pp. 37-42. (in Russian).

8 Bento de Carvalho T., Silva B.N., Tomé E., Teixeira P. Preventing fungal spoilage from raw materials to final product: Innovative preservation techniques for fruit fillings // Foods. 2024. Vol. 13. no. 17. pp. 2669

9 Alam M., Pant K., Brar D. S., N. Dar B. et al. Exploring the versatility of diverse hydrocolloids to transform techno-functional, rheological, and nutritional attributes of food fillings // Food Hydrocolloids. 2024. Vol. 146. pp. 109275. doi:10.1016/j.foodhyd.2023.109275

10 Łysiak G. P., Szot I. The Possibility of Using Fruit-Bearing Plants of Temperate Climate in the Treatment and Prevention of Diabetes // Life. 2023. Vol. 13. no. 9. pp. 1795.

11 Teslić N., Kojić J., Đermanović B., Šarić L. et al. Sour cherry pomace valorization as a bakery fruit filling: Chemical composition, bioactivity, quality and sensory properties // Antioxidants. 2023. V. 12. no. 6. pp. 1234.

12 Vukoja J., Buljeta I., Ivić I., Šimunović J. et al. Disaccharide type affected phenolic and volatile compounds of citrus fiber-blackberry cream fillings // Foods. 2021. Vol. 10. no. 2. pp. 243.

13 Pakulska A., Kawecka L., Galus S. Physical Properties of Selected Fruit Fibre and Pomace in the Context of Their Sustainable Use for Food Applications // Applied Sciences. 2024. Vol. 14. no. 19. pp. 9051.

14 Majerska J., Michalska A., Figiel A. A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by products // Trends in Food Science & Technology. 2019. no. 88. pp. 207–219. doi:10.1016/j.tifs.2019.03.021

15 Nazimov D.S. Prospects for the use of wild fruits and berries of the Siberian region in the production of fillings / D.S. Nazimov, O.K. Motovilov // Kuzbass: education, science, innovation: Proceedings of the XI Innovation Convention, Kemerovo, February 08, 2023. pp. 170–173. (in Russian).

16 State Standard R 52467–2005. Processed fruits, vegetables and mushrooms products. Terms and definitions. Moscow: Standartinform, 2020. 15 p. (in Russian).

17 State Standard R 53041–2008. Confectionery products and semi-finished confectionery products. Terms and definitions. Moscow: Standartinform, 2019. 16 p. (in Russian).

18 State Standard 32741–2014. Semi-finished products. Fruit and vegetable fillings and toppings. General specifications. Moscow: Standartinform, 2019. 9 p. (in Russian).

19 Equipment for the food industry Uzermak. Available at: [https://uzermak.ru/catalog/ccm\\_110.html](https://uzermak.ru/catalog/ccm_110.html) (in Russian).

20 Medvedev A.V. The investment decision support system for evaluating the effectiveness of innovative projects // Scientific Review. Economic sciences. 2023. no. 3. pp. 16-20. (in Russian).

21 Medvedev A.V., Semenkin E.S. Information and analytical system of operational expert decision support in managing the socio-economic development of enterprises and territories // Health is the basis of human potential: problems and solutions. 2021. no. 4. pp. 1548-1557. (in Russian).

22 Nazimov A.S. Romanenko A.M., Sozinov S.A. Comprehensive assessment of the economic efficiency of a project for the development of active sports and recreation on the water in the Kemerovo region // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. 2022 no. 9-3. pp. 382-389. (in Russian).

### Сведения об авторах

**Александр С. Назимов** к.т.н., доцент, кафедра информационных и автоматизированных производственных систем, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, ул. Весенняя, 28, г. Кемерово, 650000, Россия, [nazimov1979@ya.ru](mailto:nazimov1979@ya.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-5817-4535>

### Information about authors

**Alexandr S. Nazimov** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Information and Automated Manufacturing Systems, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Vesennaya St., 28, Kemerovo, 650000, Russia, [nazimov1979@ya.ru](mailto:nazimov1979@ya.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-5817-4535>

**Дмитрий С. Назимов** аспирант, 2 год обучения, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, ул. Центральная, 2б, Краснообск, 630501, Россия, nazimov2014@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-4029-9412>

**Олег К. Мотовилов** д.т.н., доцент, главный научный сотрудник лаборатории биотехнологий и пищевых матриц, начальник отдела пищевых систем и биотехнологий, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, ул. Центральная, 2б, Краснообск, 630501, Россия, motovilovok@sfscs.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Dmitriy S. Nazimov** PhD student, 2nd year of study, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Tsentralnaya str., 2b, Krasnoobsk, 630501, Russia, nazimov2014@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-4029-9412>

**Oleg K. Motovilov** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Biotechnology and Food Matrices, Head of the Department of Food Systems and Biotechnology, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Tsentralnaya str., 2b, Krasnoobsk, 630501, Russia, motovilovok@sfscs.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                             |                                       |                                    |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Поступила</b> 24/10/2024 | <b>После редакции</b> 15/11/2024      | <b>Принята в печать</b> 26/11/2024 |
| <b>Received</b> 24/10/2024  | <b>Accepted in revised</b> 15/11/2024 | <b>Accepted</b> 26/11/2024         |

## Местно-раздражающие и аллергенные свойства супернатантов томатов

|                       |              |                                                                          |                                                                                                         |
|-----------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Андрей В. Гребенщиков | <sup>1</sup> | <a href="mailto:serafim10@ya.ru">serafim10@ya.ru</a>                     |  0000-0002-0443-9809 |
| Алла Е. Чусова        | <sup>1</sup> | <a href="mailto:hycovai@mail.ru">hycovai@mail.ru</a>                     |  0000-0003-1237-4870 |
| Виктория А. Иванова   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:viktoriiivanova@bk.ru">viktoriiivanova@bk.ru</a>         |  0009-0000-1405-9327 |
| Алена А. Пронькина    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:pronkinaalena12@gmail.com">pronkinaalena12@gmail.com</a> |  0000-0002-8183-6082 |

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Профилины, содержащиеся в томатах, являются одним из наиболее распространенных аллергенов. Эти вещества были идентифицированы как паналлергены, способные вызывать аллергические реакции в ответ на поступление в организм различных пищевых продуктов и пыльцы растений. Сенсибилизация к профилину наблюдается примерно у 20% пациентов с аллергией на пыльцу. IgE, специфичный к профилинам пыльцы, вызывает перекрёстную реакцию с профилинами фруктов и овощей. У пациентов с аллергией на томаты и множественной сенсибилизацией к другим источникам пищи и пыльце, IgE направлен на Лус е1. Лус е1 продемонстрировал аллергенную активность благодаря своей способности вызывать высвобождение медиаторов воспаления из базофилов человека *in vitro*. Следовательно, вероятно, что Лус е1 вносит существенный вклад в развитие клинических симптомов у пациентов с аллергией на томаты. В рамках исследования было изучено раздражающее и аллергическое действие супернатантов. Исследования показали, что супернатанты обладают умеренным раздражающим эффектом на слизистые оболочки глаз в течение первых 2 суток. Два высокочувствительных теста для определения алергизирующей активности — «гистаминовый шок» и реакция дегрануляции тучных клеток — показали, что при парентеральном введении все образцы не потенцируют влияние гистамина и не вызывают дегрануляции тучных клеток подопытных животных, выходящие за пределы установленных норм. Отсутствие выраженного раздражающего действия и аутоиммунной активности у супернатантов позволяет использовать их в качестве компонента безалкогольных напитков, в том числе специального назначения.

**Ключевые слова:** профилин, аллерген, сенсибилизация, аллергия, томат, супернатант.

## Topically irritating and allergenic properties of tomato supernatants

|                          |              |                                                                          |                                                                                                           |
|--------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Andrey V. Grebenshchikov | <sup>1</sup> | <a href="mailto:serafim10@ya.ru">serafim10@ya.ru</a>                     |  0000-0002-0443-9809 |
| Alla E. Chusova          | <sup>1</sup> | <a href="mailto:hycovai@mail.ru">hycovai@mail.ru</a>                     |  0000-0003-1237-4870 |
| Victoria A. Ivanova      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:viktoriiivanova@bk.ru">viktoriiivanova@bk.ru</a>         |  0009-0000-1405-9327 |
| Alyona A. Pronkina       | <sup>1</sup> | <a href="mailto:pronkinaalena12@gmail.com">pronkinaalena12@gmail.com</a> |  0000-0002-8183-6082 |

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** Profilins contained in tomatoes are one of the most common allergens. These substances have been identified as pan-allergens that can cause allergic reactions in response to ingestion of various foods and plant pollen. Sensitization to profilin is observed in approximately 20% of patients with pollen allergy. IgE, which is specific to pollen profilins, causes a cross-reaction with fruit and vegetable profilins. In patients with tomato allergy and multiple sensitisation to other food sources and pollen, IgE is directed to Lys e1. Lys e1 has demonstrated allergenic activity due to its ability to induce the release of inflammatory mediators from human basophils *in vitro*. Therefore, it is likely that Lys e1 contributes significantly to the development of clinical symptoms in patients with tomato allergy. As part of the study, the irritant and allergic effects of supernatants were studied. Studies have shown that supernatants have a moderate irritating effect on the mucous membranes of the eyes during the first 2 days of treatment. Two highly sensitive tests for determining allergizing activity - "histamine shock" and mast cell degranulation reaction — showed that when parenterally administered, all samples do not potentiate the effect of histamine and do not cause mast cell degranulations of experimental animals that go beyond the established norms. The absence of a pronounced irritant effect and autoimmune activity in supernatants allows them to be used as a component of soft drinks, including for special purposes.

**Keywords:** profilin, allergen, sensitisation, allergy, tomato, supernatant.

Для цитирования

Гребенщиков А.В., Чусова А.Е., Иванова В.А., Пронькина А.А. Местно-раздражающие и аллергенные свойства супернатантов томатов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 171–177. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-171-177

For citation

Grebenshchikov A.V., Chusova A.E., Ivanova V.A., Pronkina A.A. Topically irritating and allergenic properties of tomato supernatants. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET], 2024. vol. 86. no. 4. pp. 171–177. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-171-177

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

За последние годы в России значительно расширился ассортимент и объёмы производства безалкогольных напитков. Однако существует проблема: многие производители и фирмы-импортёры поставляют на потребительский рынок безалкогольные напитки с добавлением компонентов способствующих провокации аутоиммунных процессов со стороны организма потребителей. Поэтому качество потребляемых населением безалкогольных напитков вызывает серьёзные опасения.

Одними из распространённых аллергенов со стороны томатов являются профиллины. Профиллины растений были описаны как паналлергены в нескольких пищевых продуктах и пыльце растений. Сенсибилизация к профиллинам наблюдается примерно у 20% пациентов с аллергией на пыльцу, а IgE к профилину пыльцы вызывает сильную перекрестную реакцию с профиллинами фруктов и овощей [1]. В то время как связывание IgE с профиллинами в пищевых источниках, содержащих гомологичные белки, наблюдается с такой же частотой, как и в пыльце, сенсибилизация IgE к профиллинам более выражена в экзотических фруктах, достигая 70% в банане или ананасе [2, 16-18]. Недавно *Lyc e1* был идентифицирован как минорный аллерген в плодах томатов (*Lycopersicon esculentum*), проявляющий IgE-реактивность у 22–26% пациентов с аллергией на томаты [3, 4, 19-20]. У этих пациентов IgE-реактивность на томатный профиллин составляет до 42% от общей IgE-реактивности на экстракты плодов томатов.

Остаточная реактивность IgE, скорее всего, обусловлена другими аллергенами томатов, такими как *Lyc e2* \ (b-фруктофуранозидаза), *Lyc e3* \ (неспецифический белок переноса липидов [LTP]), полигалактуроназа, пектинэстераза, хитиназа, супероксиддисмутаза, связанный с патогенезом белок и до сих пор неизвестные аллергены [5–9]. У пациентов с аллергией на томаты и множественной сенсибилизацией к другим источникам пищи и пыльце, IgE направлен на *Lyc e1*. Показал сильную перекрестную реактивность с профиллином из пыльцы березы и более слабую, но значительную перекрестную реактивность с профиллинами из сельдерея, моркови, вишни и ананаса. 3 IgE, направленный против профилина томатов, может быть ответственен за перекрестную реактивность между неродственными растительными источниками, но различия в эпитопах IgE внутри семейства профиллинов существуют. Более того, *Lyc e1* продемонстрировал аллергенную активность благодаря своей способности вызывать высвобождение медиаторов воспаления из базофилов человека *in vitro*. Следовательно, вероятно, что *Lyc e1* вносит существенный вклад в развитие

клинических симптомов у пациентов с аллергией на помидоры [10,14-15].

Актуальность работы заключается в отсутствии в доступной научно-технической литературе сведений о раздражающих и аутоиммунных свойствах супернатанта, полученном из разных сортов томатов.

**Цель работы** – исследовать местно-раздражающих и аллергенных свойств супернатантов, предназначенных для использования в безалкогольных напитках, в том числе специального назначения.

## Материалы и методы

Супернатанты, получены из томатов сортов Волгоградский, Оранж и Чёрный принц, выращенных в 2022 году в Хохольском районе Воронежской области.

Исследования проводились в специализированных лабораториях ФГБНУ ВНИИПФиТ. В рамках исследования было изучено раздражающее и аллергическое действие супернатантов на 36 кроликах породы «Шиншилла». Исследование проводилось в соответствии с «Руководством по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ» [11].

Супернатанты наносили на левый бок кролика, предварительно выстригая участок кожи размером 4×4 см. Экспозиция составляла 4 часа, процедуры проводились 5 раз в неделю в течение 20 дней.

Первое тестирование по шкале оценки кожных проб было проведено через 10 дней. При этом выстригали кожу на противоположном боку кролика и наносили супернатанты. Реакцию кожи анализировали через 24, 48 и 72 часа после смывания продукта. При отрицательном результате опыт продолжили и довели число аппликаций до 20, после чего провели повторное тестирование.

Для количественной оценки сенсибилизации к супернатантам использовали иммунологический метод по выявлению реакции клеток крови на аллерген *in vitro* – реакцию дегрануляции тучных клеток (РНДТК) и реакцию гистаминового шока.

Исследование раздражающего действия супернатантов на слизистые оболочки глаз проводили на кроликах. Каждый исследуемый образец в количестве 3 капель вносили в конъюнктивальный мешок правого глаза трём кроликам. Левые глаза кроликов служили контролем. Наблюдение за состоянием животных проводилось в течение 2 недель. Оценку раздражающего действия проводили согласно рекомендациям, учитывая изменение кровенаполнения конъюнктивы, состояние роговицы и радужной оболочки, количество выделений из глаз (таблица 1).

Таблица 1.

Оценка раздражающего действия на слизистые оболочки глаз

Table 1.

Evaluation of the irritant effect on the mucous membranes of the eyes

| Интенсивность реакции<br>Reaction intensity                                                                                | Оценка в баллах<br>Score in points | Раздражающий эффект<br>Irritating effect |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|
| Отсутствие реакции   No reaction                                                                                           | 0                                  | Отсутствует   No effect                  |
| Слабая реакция   Weak reaction                                                                                             | 2                                  | Слабый   Weak                            |
| Выраженная гиперемия   Severe hyperemia                                                                                    | 4                                  | Слабо выраженный   Mild                  |
| Наличие лакримации   Presence of lacrimation                                                                               | 6                                  | Умеренный   Moderate                     |
| Наличие выделений   Presence of discharge                                                                                  | 8                                  | Выраженный   Strong                      |
| Длительная, ярко выраженная гиперемия, лакримация, отек век<br>Prolonged, pronounced hyperemia, lachrymation, eyelid edema | 10                                 | Сильно выраженный<br>Strongly pronounced |

Данные, полученные в ходе исследования, были подвергнуты статистической обработке с использованием программы Statistica v10.0 (StatSoft. Inc. США). Были рассчитаны средняя арифметическая, а также стандартная ошибка средней. Достоверность различия между выборками оценивалась с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни. Статистическая гипотеза считалась достоверной при  $P < 0,05$ .

### Результаты

Результаты исследования раздражающих свойств супернатантов показали, что нанесение их

на кожу ежедневно в течение 15 суток не вызывало у кроликов изменений кожного покрова. Не отмечено покраснения кожи, утолщения кожной складки и выпадения подстриженной шерсти и шерсти, граничащей с выстриженными участками.

При пальпации выстриженных участков кожи не наблюдали болезненной реакции у животных. Данные гематологических показателей свидетельствуют, что нанесение супернатантов на выстриженные участки кожи кроликов в течение 15 суток не изменяло клиническую картину крови экспериментальных животных (таблица 2).

Таблица 2.

Гематологические показатели кроликов до и после многократного нанесения супернатантов в течение 15 дней

Table 2.

Hematological parameters of rabbits before and after repeated application of supernatants for 15 days

| Сроки наблюдения<br>Observation period | Гемоглобин ммоль/л<br>Hemoglobin mmol/L | Эритроциты $10^{12}/л$<br>Erythrocytes $10^{12}/L$ | Лейкоциты $10^9/л$<br>Leukocytes $10^9/L$ | СОЭ мм/ч<br>COE mm/h |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|
| Супернатант Волгоградский              |                                         |                                                    |                                           |                      |
| До опыта<br>Prior experiment           | $7,1 \pm 0,4$                           | $3,9 \pm 0,4$                                      | $6,7 \pm 0,3$                             | $2,0 \pm 0,3$        |
| 1 час   1 hour                         | $7,9 \pm 0,3$                           | $4,0 \pm 0,1$                                      | $6,9 \pm 0,3$                             | $2,9 \pm 0,1$        |
| 1 сутки   1 day                        | $6,9 \pm 0,6$                           | $4,1 \pm 0,2$                                      | $7,6 \pm 0,2$                             | $2,2 \pm 0,3$        |
| 5 суток   5 days                       | $7,0 \pm 0,2$                           | $3,9 \pm 0,3$                                      | $7,3 \pm 0,1$                             | $2,0 \pm 0,3$        |
| 10 суток   10 days                     | $7,0 \pm 0,4$                           | $4,0 \pm 0,3$                                      | $7,1 \pm 0,3$                             | $2,0 \pm 0,2$        |
| Супернатант Оранжевый                  |                                         |                                                    |                                           |                      |
| До опыта<br>Prior experiment           | $7,0 \pm 0,4$                           | $4,0 \pm 0,4$                                      | $6,9 \pm 0,3$                             | $2,1 \pm 0,3$        |
| 1 час   1 hour                         | $7,5 \pm 0,3$                           | $4,0 \pm 0,1$                                      | $6,4 \pm 0,3$                             | $2,6 \pm 0,1$        |
| 1 сутки   1 day                        | $6,9 \pm 0,6$                           | $4,1 \pm 0,2$                                      | $7,2 \pm 0,4$                             | $2,2 \pm 0,2$        |
| 5 суток   5 days                       | $7,1 \pm 0,4$                           | $4,0 \pm 0,2$                                      | $7,3 \pm 0,3$                             | $2,0 \pm 0,3$        |
| 10 суток   10 days                     | $7,1 \pm 0,4$                           | $4,0 \pm 0,3$                                      | $7,0 \pm 0,3$                             | $2,0 \pm 0,1$        |
| Супернатант Чёрный принц               |                                         |                                                    |                                           |                      |
| До опыта<br>Prior experiment           | $7,2 \pm 0,5$                           | $3,8 \pm 0,4$                                      | $6,7 \pm 0,3$                             | $2,2 \pm 0,3$        |
| 1 час   1 hour                         | $7,3 \pm 0,3$                           | $4,0 \pm 0,1$                                      | $6,4 \pm 0,3$                             | $2,7 \pm 0,1$        |
| 1 сутки   1 day                        | $7,0 \pm 0,6$                           | $4,1 \pm 0,2$                                      | $7,2 \pm 0,2$                             | $2,2 \pm 0,3$        |
| 5 суток   5 days                       | $7,1 \pm 0,2$                           | $3,9 \pm 0,3$                                      | $7,3 \pm 0,1$                             | $2,0 \pm 0,3$        |
| 10 суток   10 days                     | $7,1 \pm 0,3$                           | $4,0 \pm 0,3$                                      | $7,0 \pm 0,3$                             | $2,0 \pm 0,2$        |

Опыт по изучению раздражающих свойств супернатантов на слизистые оболочки глаз провели на 9 кроликах.

Раздражающее действие супернатантов на слизистые оболочки глаз определяли по «глазной пробе». В конъюнктивальный мешок левого глаза 5 кроликам закапывали 1–2 капли супернатантов, а в конъюнктивальный мешок

правого – 1–2 капли воды. За животными вели наблюдение на протяжении 15 суток. Оценка раздражающего действия проводили через 1, 2, 3, 4 и 24 часа, 3–7 и 15 суток визуально по изменению кровенаполнения конъюнктивы, наличию лакримации и состоянию роговицы по 10 бальной системе согласно таблице 3.

Через 1 час после введения супернатантов у всех подопытных животных наблюдали слезотечение и выраженную гиперемию конъюнктивы с оценкой 4 балла. Через 2, 3 и 4 часа конъюнктив а оставалась слабовыраженной в той же степени – 4 балла.

Спустя 24 часа у всех кроликов на слизистой глаз имело место наличие лакримации и отека век (раздражающий эффект – умеренный). На 2 сутки отмечали ярко выраженную гиперемию и лакримацию (раздражающий эффект – умеренный). На 4-е сутки признаки раздражения слизистой глаз постепенно исчезали. На 7 сутки видимых изменений на слизистой оболочке глаз не наблюдали. Таким образом, было установлено, что испытуемые супернатанты обладают умеренным раздражающим эффектом на слизистые оболочки глаз в течение первых 2 суток.

Изучение аллергизирующего действия. При введении подопытным животным гистамина наблюдалась следующая реакция: возбуждение, частая дефекация, мочеиспускание, учащенное дыхание, судороги. Критерием оценки служило время от момента введения гистамина до момента бокового положения животных. Время наступления гистаминового шока у подопытных и контрольных животных находилось в близких пределах ( $P > 0,05$ ). Не было отмечено укорочения периода наступления гистаминового шока при введении исследуемых супернатантов (таблица 3). Напитки не потенцировали эффекта гистамина и, следовательно, не проявляли аллергизирующих свойств.

Таблица 3.

Аллергизирующая активность напитков на основе супернатантов (метод гистаминового шока,  $P > 0,05$ )

Table 3.

The allergic activity of drinks based on supernatants (histamine shock method) is statistically significant ( $P > 0,05$ )

| Образец<br>Sample                                     | Время наступления гистаминового шока, мин<br>Time of onset of histamine shock, min |                                           |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                       | Животные   Animal                                                                  |                                           |
|                                                       | Подопытные $M \pm t$   Experimental $M \pm t$                                      | Контрольные $M \pm t$   Control $M \pm t$ |
| Супернатант Волгоградский<br>Supernatant Volgogradsky | $18,9 \pm 0,10$                                                                    | $21,6 \pm 0,30$                           |
| Супернатант Оранжевый<br>Supernatant Orange           | $20,2 \pm 0,12$                                                                    | $21,7 \pm 0,20$                           |
| Супернатант Чёрный принц<br>Supernatant Black Prince  | $21,2 \pm 0,12$                                                                    | $21,7 \pm 0,20$                           |

У подопытных морских свинок характер протекания гистаминового шока не отличался от такового у контрольных животных.

Опыты по изучению аллергенных свойств по тесту «непрямой реакции дегрануляции тучных

клеток» (РНДТК) показали, что при подкожном введении супернатантов на первые сутки после введения процент дегранулированных клеток не превышал десяти (таблица 4).

Таблица 4.

Аллергенная активность супернатантов в реакции непрямой дегрануляции тучных клеток

Table 4.

The allergenic activity of supernatants in the indirect mast cell degranulation reaction

| Образец                                               |                                                                      | Время отбора крови, сутки   Blood sampling time, day |                |                |                |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
|                                                       |                                                                      | 1                                                    | 5              | 10             | 15             |
| Супернатант Волгоградский<br>Supernatant Volgogradsky | Процент дегранулированных клеток<br>Percentage of degranulated cells | $9,6 \pm 0,3$                                        | $4,7 \pm 0,19$ | $4,0 \pm 0,13$ | $3,8 \pm 0,14$ |
|                                                       | Реакция   Response                                                   | (–)                                                  | (–)            | (–)            | (–)            |
| Супернатант Оранжевый<br>Supernatant Orange           | Процент дегранулированных клеток<br>Percentage of degranulated cells | $9,1 \pm 0,41$                                       | $3,6 \pm 0,22$ | $3,8 \pm 0,10$ | $2,9 \pm 0,31$ |
|                                                       | Реакция   Response                                                   | (–)                                                  | (–)            | (–)            | (–)            |
| Супернатант Чёрный принц<br>Supernatant Black Prince  | Процент дегранулированных клеток<br>Percentage of degranulated cells | $8,7 \pm 0,41$                                       | $3,2 \pm 0,22$ | $3,4 \pm 0,10$ | $2,8 \pm 0,31$ |
|                                                       | Реакция   Response                                                   | (–)                                                  | (–)            | (–)            | (–)            |

На 5, 10 и 15 сутки после введения напитков процент дегранулированных клеток находился в пределах  $4,8 \pm 0,2$  –  $2,8 \pm 0,30$ .

Таким образом, наибольший процент дегранулированных клеток наблюдался на первые

сутки после введения, но и в эти сроки по количеству дегранулированных клеток реакция считалась отрицательной.

### Заключение

Исследования показали, что супернатанты обладают умеренным раздражающим эффектом на слизистые оболочки глаз в течение первых 2 суток. А также два высокочувствительных теста для определения алергизирующей активности «гистаминовый шок» и реакция дегрануляции тучных клеток показали, что при парентеральном введении все образцы не потенцируют влияние гистамина и не вызывают

дегрануляции тучных клеток подопытных животных, выходящие за пределы установленных норм. Отсутствие выраженного раздражающего действия и аутоиммунной активности у супернатантов позволяет использовать их в качестве компонента безалкогольных напитков, в том числе специального назначения.

### Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00217, <https://rscf.ru/project/23-26-00217/>.

### Литература

- 1 Vieths S., Scheurer S., Ballmer-Weber B. Current understanding of cross-reactivity of food allergens and pollen. *Ann N Y Acad Sci.* 2002. V. 964. P. 47–68. doi:10.1111/j. 1749–6632.2002.tb04132.x
- 2 Reindl J., Rihs H.P., Scheurer S., Wangorsch A. et al. IgE reactivity to profilin in pollen-sensitized subjects with adverse reactions to banana and pineapple // *Int Arch Allergy Immunol.* 2002. V. 128(2). P. 105–114. doi:10.1159/000059400
- 3 Westphal S., Kempf W., Foetisch K., Retzek M. Tomato profilin Lyc e 1: IgE cross-reactivity and allergenic potency. // *Allergy.* 2004. V. 59(5). P. 526–532. doi:10.1046/j. 1398–9995.2003.00413.x
- 4 Willeroider M., Fuchs H., Ballmer-Weber B.K., Focke M., Susani M., Thalhamer J., Ferreira F., Wüthrich B., Scheiner O., Breiteneder H., Hoffmann-Sommergruber K. Cloning and molecular and immunological characterisation of two new food allergens, Cap a 2 and Lyc e 1, profilins from bell pepper (*Capsicum annuum*) and Tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Int Arch Allergy Immunol.* 2003. V. 131(4). P. 245–55. doi: 10.1159/000072136
- 5 Westphal S., Kolarich D., Foetisch K., Lauer I. et al. Molecular characterization and allergenic activity of Lyc e 2 (beta-fructofuranosidase), a glycosylated allergen of tomato. *Eur J Biochem.* 2003. V. 270(6). P. 1327–1337. doi: 10.1046/j. 1432–1033.2003.03503.x
- 6 Le L.Q., Lorenz Y., Scheurer S., Fötisch K. et al. Design of tomato fruits with reduced allergenicity by dsRNAi-mediated inhibition of ns-LTP (Lyc e 3) expression. *Plant Biotechnol J.* 2006. V. 4(2). P. 231–42. doi: 10.1111/j. 1467–7652.2005.00175.x
- 7 Vanga S. K., Jain M., Raghavan V. Significance of fruit and vegetable allergens: Possibilities of its reduction through processing // *Food reviews international.* 2018. V. 34. №. 2. P. 103-125.
- 8 Diaz-Perales A., Collada C., Blanco C., Sanchez-Monge R. et al. Cross-reactions in the latex-fruit syndrome: A relevant role of chitinases but not of complex asparagine-linked glycans. *J Allergy Clin Immunol.* 1999.V. 104. P.681–687. doi: 10.1016/s0091–6749(99)70342–8
- 9 Kondo Y., Urisu A., Tokuda R. Identification and characterization of the allergens in the tomato fruit by immunoblotting. *Int Arch Allergy Immunol.* 2001. V. 126(4). P. 294–299. doi: 10.1159/000049526
- 10 Scheurer S., Wangorsch A., Haustein D., Vieths S. Cloning of the minor allergen Api g 4 profilin from celery (*Apium graveolens*) and its cross-reactivity with birch pollen profilin Bet v 2. *Clin Exp Allergy.* 2000. V. 30(7). P. 962–971. doi:10.1046/j.1365–2222.2000.00821.x
- 11 Ших Е.В., Елизарова Е.В., Махова А.А., Брагина Т.В. и др. Роль томатов и продуктов из них в здоровом питании человека // *Вопросы питания.* 2021. Т. 90. № 4. С. 129–137.
- 12 Чусова А.Е., Жаркова И.М., Гребенщиков А.В., Коркина А.В. и др. Оценка биологической активности осветленного томатного сока. Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений. Сборник научных статей и докладов X Международной науч.-технич. конф. Воронеж, 2022. С. 80–84.
- 13 Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. Москва: Издательство "Медицина", 2005. 832 с.
- 14 Włodarczyk K., Smolińska B., Majak I. Tomato allergy: the characterization of the selected allergens and antioxidants of tomato (*solanum lycopersicum*)—a review // *Antioxidants.* 2022. V. 11. №. 4. P. 644
- 15 Wu X., Yu L., Pehrsson P.R. Are Processed Tomato Products as Nutritious as Fresh Tomatoes? Scoping Review on the Effects of Industrial Processing on Nutrients and Bioactive Compounds in Tomatoes. *Adv Nutr.* 2022. V. 13(1) P. 138-151. doi:10.1093/advances/nmab109
- 16 Shikh E.V., Elizarova E.V., Makhova A.A., Bragina T.V. The role of tomatoes and products from them in healthy human nutrition // *Nutrition issues.* 2021. V. 90. №. 4. P. 129–137.
- 17 Иванова Н. Н., Хомич Л. М., Бекетова Н. А. Нутриентный профиль томатного сока. *Вопросы питания.* 2018. Т. 87. № 2. С. 53-64. doi:10.24411/0042-8833-2018-10019
- 18 Landrier J.F., Breniere T., Sani L., Desmarchelier C. et al. Effect of tomato, tomato-derived products and lycopene on metabolic inflammation: from epidemiological data to molecular mechanisms. *Nutr Res Rev.* 2023 V. 18. P.1-17. doi: 10.1017/S095442242300029X

19 Wójtowicz A., Zalewska-Korona, M., Jablonska-Rys, E., Skalicka-Wozniak, K. et al. Chemical characteristics and physical properties of functional snacks enriched with powdered tomato // *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2018. V. 68. №. 3. P. 251-261.

20 Dai T., McClements D.J., Niu X., Guo X. et al. Whole tomato juice produced by a novel industrial-scale microfluidizer: Effect on physical properties and in vitro lycopene bioaccessibility. *Food Res Int*. 2022. V. 159 P. 111608. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111608

## References

1 Vieths S., Scheurer S., Ballmer-Weber B. Current understanding of cross-reactivity of food allergens and pollen. *Ann N Y Acad Sci*. 2002. Vol. 964. pp. 47–68. doi:10.1111/j. 1749–6632.2002.tb04132.x

2 Reindl J., Rihs H.P., Scheurer S., Wangorsch A. et al. IgE reactivity to profilin in pollen-sensitized subjects with adverse reactions to banana and pineapple // *Int Arch Allergy Immunol*. 2002. Vol. 128(2). pp. 105–114. doi:10.1159/000059400

3 Westphal S., Kempf W., Foetisch K., Retzek M. Tomato profilin Lyc e 1: IgE cross-reactivity and allergenic potency. // *Allergy*. 2004. Vol. 59(5). pp. 526–532. doi:10.1046/j. 1398–9995.2003.00413.x

4 Willeroider M., Fuchs H., Ballmer-Weber B.K., Focke M., Susani M, Thalhamer J, Ferreira F, Wüthrich B, Scheiner O, Breiteneder H, Hoffmann-Sommergruber K. Cloning and molecular and immunological characterisation of two new food allergens, Cap a 2 and Lyc e 1, profilins from bell pepper (*Capsicum annuum*) and Tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Int Arch Allergy Immunol*. 2003. V. 131(4). P. 245–55. doi: 10.1159/000072136

5 Westphal S, Kolarich D, Foetisch K, Lauer I. et al. Molecular characterization and allergenic activity of Lyc e 2 (beta-fructofuranosidase), a glycosylated allergen of tomato. *Eur J Biochem*. 2003. Vol. 270(6). pp. 1327–1337. doi: 10.1046/j. 1432–1033.2003.03503.x

6 Le L.Q., Lorenz Y., Scheurer S., Fötisch K. et al. Design of tomato fruits with reduced allergenicity by dsRNAi-mediated inhibition of ns-LTP (Lyc e 3) expression. *Plant Biotechnol J*. 2006. Vol. 4(2). pp. 231–42. doi: 10.1111/j. 1467–7652.2005.00175.x

7 Vanga S. K., Jain M., Raghavan V. Significance of fruit and vegetable allergens: Possibilities of its reduction through processing // *Food reviews international*. 2018. Vol. 34. no. 2. pp. 103-125.

8 Diaz-Perales A., Collada C., Blanco C., Sanchez-Monge R. et al. Cross-reactions in the latex-fruit syndrome: A relevant role of chitinases but not of complex asparagine-linked glycans. *J Allergy Clin Immunol*. 1999. Vol. 104. pp. 681–687. doi: 10.1016/s0091–6749(99)70342–8

9 Kondo Y., Urisu A., Tokuda R. Identification and characterization of the allergens in the tomato fruit by immunoblotting. *Int Arch Allergy Immunol*. 2001. Vol. 126(4). pp. 294–299. doi: 10.1159/000049526

10 Scheurer S, Wangorsch A, Hausteiner D, Vieths S. Cloning of the minor allergen Api g 4 profilin from celery (*Apium graveolens*) and its cross-reactivity with birch pollen profilin Bet v 2. *Clin Exp Allergy*. 2000. Vol. 30(7). pp. 962–971. doi:10.1046/j.1365–2222.2000.00821.x

11 Shikh E.V., Elizarova E.V., Makhova A.A., Bragina T.V. and others. The role of tomatoes and their products in a healthy human diet // *Nutrition issues*. 2021. Vol. 90. no. 4. pp. 129-137.

12 Chusova A.E., Zharkova I.M., Grebenshchikov A.V., Korkina A.V. and others. Evaluation of the biological activity of clarified tomato juice. New in technology and technology of functional food products based on medical and biological views.. Voronezh, 2022. pp. 80-84. (in Russian).

13 Guidelines for the experimental (preclinical) study of new pharmacological substances. – 2nd edition, revised and expanded. Moscow: Publishing House "Medicine", 2005. 832 p. (in Russian).

14 Włodarczyk K., Smolińska B., Majak I. Tomato allergy: the characterization of the selected allergens and antioxidants of tomato (*solanum lycopersicum*)—a review // *Antioxidants*. 2022. Vol. 11. no. 4. pp. 644.

15 Wu X., Yu L., Pehrsson P.R. Are Processed Tomato Products as Nutritious as Fresh Tomatoes? Scoping Review on the Effects of Industrial Processing on Nutrients and Bioactive Compounds in Tomatoes. *Adv Nutr*. 2022. Vol. 13(1) pp. 138-151. doi:10.1093/advances/nmab109

16 Shikh E.V., Elizarova E.V., Makhova A.A., Bragina T.V. The role of tomatoes and products from them in healthy human nutrition // *Nutrition issues*. 2021. Vol. 90. no. 4. pp. 129–137.

17 Ivanova N. N., Khomich L. M., Beketova N. A. The nutritional profile of tomato juice // *Nutrition issues*. 2018. Vol. 87. no. 2. pp. 53-64. doi:10.24411/0042-8833-2018-10019 (in Russian).

18 Landrier J.F, Breniere T, Sani L, Desmarchelier C. et al. Effect of tomato, tomato-derived products and lycopene on metabolic inflammation: from epidemiological data to molecular mechanisms. *Nutr Res Rev*. 2023 Vol. 18. pp. 1-17. doi: 10.1017/S095442242300029X

19 Wójtowicz A., Zalewska-Korona, M., Jablonska-Rys, E., Skalicka-Wozniak, K. et al. Chemical characteristics and physical properties of functional snacks enriched with powdered tomato // *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2018. Vol. 68. no. 3. pp. 251-261.

20 Dai T., McClements D.J., Niu X., Guo X. et al. Whole tomato juice produced by a novel industrial-scale microfluidizer: Effect on physical properties and in vitro lycopene bioaccessibility. *Food Res Int*. 2022. Vol. 159. pp. 111608. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111608

## Сведения об авторах

**Андрей В. Гребенщиков** к.в.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, serafim10@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0443-9809>

**Алла Е. Чусова** к.т.н., доцент, кафедра технологии бро-дильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

**Виктория А. Иванова** обучающийся, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, viktoriiainanova@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-1405-9327>

**Алена А. Пронкина** обучающийся, кафедра технологии бро-дильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, pronkinaalena12@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8183-6082>

## Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Information about authors

**Andrey V. Grebenshchikov** Cand. Sci. (Veterinary), assistant professor, Department of Biochemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, serafim10@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0443-9809>

**Alla E. Chusova** Cand. Sci. (Technical), assistant professor, Department of Fermentation and Sugar Production Technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hycovai@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1237-4870>

**Victoria A. Ivanova** Student, Department of Biochemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, viktoriiainanova@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-1405-9327>

**Alyona A. Pronkina** Student, Department of Biochemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, pronkinaalena12@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8183-6082>

## Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 22/10/2024 | После редакции 14/11/2024      | Принята в печать 27/11/2024 |
| Received 22/10/2024  | Accepted in revised 14/11/2024 | Accepted 27/11/2024         |

## Влияние низкогидролизованного поливинилового спирта на неадаптированный биоценоз активного ила

|                        |              |                                                                                |                                                                                                         |
|------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Любовь Н. Студеникина  | <sup>1</sup> | <a href="mailto:lovov-churkina@ya.ru">lovov-churkina@ya.ru</a>                 |  0000-0001-6613-4974 |
| Владимир И. Корчагин   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kvi-vgta@rambler.ru">kvi-vgta@rambler.ru</a>                   |  0000-0001-7212-1627 |
| Анжелика А. Савина     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:angelikasavina05@gmail.com">angelikasavina05@gmail.com</a>     |                      |
| Татьяна Р. Поваляева   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:tanuapovaluaeva_2003@mail.ru">tanuapovaluaeva_2003@mail.ru</a> |                      |
| Александр А. Мельников | <sup>1</sup> | <a href="mailto:melnikov.shura@inbox.ru">melnikov.shura@inbox.ru</a>           |                      |

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Область применения водорастворимых пленок в пищевой промышленности включает защитные оболочки пищевых продуктов, в т.ч. индикаторную упаковку, водорастворимые этикетки, эко-пакеты и проч. Основное сырье для производства водорастворимых пленок – это поливиниловый спирт (ПВС), который используется в пищевой промышленности как добавка Е1203 – эмульгатор, влагоудерживатель, глазирующий агент. В настоящее время недостаточно изучен вопрос влияния ПВС на биоценоз активного ила (АИ) очистных сооружений, в которых водорастворимая упаковка обычно заканчивает свой жизненный цикл. Цель работы – оценка влияния низкогидролизованного поливинилового спирта на показатели неадаптированного активного ила очистных сооружений. Объектом исследования был выбран ПВС марки 17-88 в виде 5%-го раствора, который вносили в определенном количестве (0,1 и 0,05 мас.%) в водно-иловую смесь (ВИС) в условиях лабораторных аэротенков. АИ брали с колодца вторичного отстойника городских очистных сооружений. Для оценки влияния ПВС на биоценоз АИ определяли в динамике гидрохимические (ГХ) и гидробиологические (ГБ) показатели ила, а также показатель химического потребления кислорода (ХПК) ВИС. Установлено, что введение ПВС в водно-иловую смесь в концентрациях 0,1 – 0,05 мас.% положительно влияет на ГХ и ГБ показатели неадаптированного активного ила, по сравнению с голодающей ВИС, в которую не вносили ПВС, оказывая флокулирующий эффект и способствуя улучшению седиментационных свойств АИ, а также сохранению видового разнообразия за счет содержания питательных веществ. Установлено, что пороговая концентрация содержания ПВС в водно-иловой смеси составляет 0,15 мас.% (что соответствует значениям ХПК около 2500 мгО<sub>2</sub>/л), более концентрированные растворы за счет высокого пенообразования и высокого значения ХПК способствуют выносу биомассы и ухудшению ГХ и ГБ показателей АИ. Установлено, что в первые сутки взаимодействия ПВС и АИ происходит изъятие из ВИС около 20-30 % массы полимера (предположительно, за счет сорбции на внеклеточном матриксе АИ), что подтверждается снижением значения ХПК, и далее наблюдается стабилизация значения ХПК исследуемых систем до 7 суток проведения эксперимента.

**Ключевые слова:** поливиниловый спирт, биоценоз активного ила, водорастворимая упаковка, водорастворимые пленки.

## The effect of low hydrolyzed polyvinyl alcohol on the unadapted biocenosis of activated sludge

|                       |              |                                                                                |                                                                                                           |
|-----------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lyubov N. Studenikina | <sup>1</sup> | <a href="mailto:lovov-churkina@ya.ru">lovov-churkina@ya.ru</a>                 |  0000-0001-6613-4974 |
| Viadimir I. Korchagin | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kvi-vgta@rambler.ru">kvi-vgta@rambler.ru</a>                   |  0000-0001-7212-1627 |
| Angelika A. Savina    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:angelikasavina05@gmail.com">angelikasavina05@gmail.com</a>     |                      |
| Tatiana R. Povaljatva | <sup>1</sup> | <a href="mailto:tanuapovaluaeva_2003@mail.ru">tanuapovaluaeva_2003@mail.ru</a> |                      |
| Alexandr A. Melnikov  | <sup>1</sup> | <a href="mailto:melnikov.shura@inbox.ru">melnikov.shura@inbox.ru</a>           |                      |

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** The field of application of water-soluble films in the food industry includes protective shells of food products, including indicator packaging, water-soluble labels, eco-bags for storing dry and frozen products, etc. The main raw material for the production of water-soluble films is polyvinyl alcohol (PVA), which is used in the food industry as an additive E1203 – emulsifier, moisture retention, glazing agent. Currently, the issue of the effect of PVA on the biocenosis of activated sludge (AS) of wastewater treatment plants, in which water-soluble packaging usually ends its life cycle, has not been sufficiently studied. The purpose of the work is to assess the effect of low-hydrolyzed polyvinyl alcohol on the indicators of unadapted activated sludge of wastewater treatment plants. The object of the study was selected PVA grade 17-88 in the form of a 5% solution, which was introduced in a certain amount into an aqueous-silt mixture (ASM) under laboratory conditions of aerotanks (0.1 and 0.05 wt.%). AS was taken from the well of the secondary settling tank of urban wastewater treatment plants. To assess the effect of PVA on the biocenosis of AS, hydrochemical (GC) and hydrobiological (GB) indicators of sludge, as well as the indicator of chemical oxygen consumption of ASM, were determined in dynamics. It was found that the introduction of PVA into an aqueous-silt mixture at concentrations of 0.1 – 0.05 wt.% has a positive effect on GC and GB indicators of unadapted activated sludge, compared with starving ASM, which was not injected with PVA, having a flocculating effect and contributing to the improvement of sedimentation properties of AS, as well as the preservation of species diversity due to the content of nutrients. It was found that the threshold concentration of PVA content in the aqueous-silt mixture is 0.15 wt.% (which corresponds to chemical oxygen consumption values of about 2500 mgO<sub>2</sub>/l), more concentrated solutions due to high foaming and high chemical oxygen consumption values contribute to the removal of biomass and deterioration of GC and GB AS indicators. It was found that on the first day of interaction of PVA and AS, about 20-30% of the polymer mass is withdrawn from the ASM (presumably due to sorption on the extracellular matrix of AS), which is confirmed by a decrease in the value of chemical oxygen consumption, and further stabilization of the chemical oxygen consumption value of the studied systems is observed up to 7 days of the experiment.

**Keywords:** polyvinyl alcohol, biocenosis of activated sludge, water-soluble packaging, water-soluble films.

Для цитирования

Студеникина Л.Н., Корчагин В.И., Савина А.А., Поваляева Т.Р., Мельников А.А. Влияние низкогидролизованного поливинилового спирта на неадаптированный биоценоз активного ила // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 178–184. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-178-184

For citation

Studenikina L.N., Korchagin V.I., Savina A.A., Povalyaeva T.R., Melnikov A.A. The effect of low hydrolyzed polyvinyl alcohol on the unadapted biocenosis of activated sludge. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 178–184. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-178-184

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Водорастворимая упаковка становится все более популярной, не только при получении капсулированных моющих средств, но и в других отраслях, включая пищевую промышленность, здравоохранение, сельское хозяйство и т. д. [1] Область применения водорастворимых пленок в пищевой промышленности включает защитные оболочки пищевых продуктов, в т. ч. индикаторную упаковку, водорастворимые этикетки, эко-пакеты для хранения сухой и замороженной продукции и проч.

По прогнозам экспертов ожидается, что рынок водорастворимых пленок будет расти в среднем на 6% в год в период до 2030 года. Мировым лидером по производству ПВС и водорастворимой пленки является Азиатско-Тихоокеанский регион.

Водорастворимая пленка, используемая в настоящее время, изготавливается из полимера, который называется поливиниловый спирт. В пищевой промышленности это вещество используется как добавка E1203 – эмульгатор, влагоудерживатель, глазирующий агент.

Несмотря на то, что водорастворимая упаковка обладает преимуществами для потребителя (удобство применения, отсутствие отходов упаковки, гигиеничность), в то же время ей присущи некоторые недостатки: дороговизна, определенные условия хранения, недоказанная экологичность и др.

ПВС выпускаются промышленностью различных марок, отличающихся молекулярной массой и остаточным содержанием винилацетатных (ВА) групп, и как следствие – степенью гидролиза и эффективностью биодеструкции. Известно, что ПВС, содержащий до 5% ВА-групп, набухает в холодной и растворяется в нагретой до 90–100 °С воде, ПВС с 5–10% ВА-групп растворяется в воде при 65–85 °С (как следствие – ПВС с содержанием ВА-групп менее 10% не способен к гидролизу в естественных природных условиях). ПВС с 10–15% ВА-групп растворяется при нагревании и частично – при комнатной температуре, с 15–25% ВА-групп – при 20 °С (и соответственно может подвергаться гидролитической деструкции в условиях окружающей среды) [2].

ПВС признан одним из очень немногих виниловых полимеров, подверженных окончательной биодegradации в присутствии соответствующим образом акклиматизированных микроорганизмов [3]. Однако биодеструкция данного полимера носит сложный характер и лимитируется некоторыми факторами. Авторы [4] делают вывод, что конечная биодegradация ПВС в значительной степени зависит от микробиоценоза окружающей среды, в которую он попадает. В работе [5] также отмечено, что в незагрязненных поливиниловым спиртом природных средах адаптированные бактерии могут отсутствовать, и делают вывод, что ПВС по существу не поддается естественному

биологическому разложению. Имеются данные, что во многих случаях растворенный в городских канализационных стоках ПВС проходит через очистные сооружения без изменений, однако если имеет место его постоянное поступление в аэротенки, то наблюдается адаптация микробиоценоза активного ила к данному веществу, например в присутствии хорошо адаптированной микрофлоры очистных сооружений бумажной фабрики, деградация ПВС протекала со скоростями, сопоставимыми с биодеструкцией целлюлозы [5].

Как и большинство полимеров (например, полиолефины, полистиролы и полиакрилаты), ПВС имеет углерод-углеродную односвязную основу. Однако он также обладает 1,3-диольной структурой, которая распространена в природных углеводах. Неудивительно, что биодegradация ПВС начинается путем ферментативной атаки на эти 1,3 – диольные повторяющиеся единицы с помощью экзоферментов, с образованием смеси ацетоксигидрокси и гидрокси жирных кислот. При внутриклеточном ферментативном деацетилировании они могут быть дополнительно метаболизированы с помощью классического пути β-окисления и цикла Кребса. Этот механизм является общим для всех ПВС-деградирующих микроорганизмов [6]. Среди деградирующих штаммов многие виды можно найти в родах *Pseudomonas* и *Sphingomonas* [7].

Таким образом, путь ферментативной биодegradации ПВС можно представить в виде цепочки: ПВС → кетоны, жирные кислоты, спирты → уксусная кислота, водород, углекислый газ, метан (либо минерализация).

В водных аэробных средах биодegradация ПВС происходит параллельно с его растворимостью в воде [8]. Авторы [9] продемонстрировали биоразлагаемость ПВС в анаэробных условиях, используя речные отложения и анаэробно обработанный активный ил, а полученный в исследовании [10] микробный консорциум был способен к деградации ПВС как в денитрифицирующих, так и в аэробных условиях.

В некоторых литературных источниках прослеживаются противоречия по вопросу эффективности биодegradации поливинилового спирта. Однако, авторы [3] утверждают, что положительные результаты скрининговых тестов на биодegradацию ПВС сами по себе не противоречат данным о его плохой биодegradуемости. Это связано с тем, что существует очень широкий спектр применений данного полимера с определенными требованиями к физико-химическим свойствам, которые достигаются с помощью различных стратегий проектирования полимеров.

Также в настоящее время недостаточно изучен вопрос влияния ПВС на биоценоз активного ила очистных сооружений, в которых водорастворимая упаковка обычно заканчивает свой жизненный цикл.

Известно, что ПВС является неионным нейтральным флокулянт, и может применяться при очистке сточных вод от взвешенных веществ [11]. Принцип действия неионных флокулянтов, относящихся к нейтральному классу, состоит в образовании водородных связей между молекулами полимера и поверхностью взвешенных частиц загрязнений [12].

Введение флокулянтов в активный ил оправдано для улучшения его седиментационных свойств, снижения выноса биомассы, улучшения осаждения во вторичных отстойниках [13].

**Цель работы** – оценка влияния низкогидролизованного поливинилового спирта на показатели неадаптированного активного ила очистных сооружений.

### Материалы и методы

Объектом исследования был выбран ПВС марки 17–88. Готовили 5% раствор ПВС по стандартной методике [2], далее вносили определенное количество ПВС в водно-иловую смесь (ВИС) в условиях лабораторных аэротенков (0,1 и 0,05 мас.%, т. к. предварительные испытания показали, что введение ПВС в ВИС в количестве более 0,15 мас.% сопровождается сильным пенообразованием при аэрации).

Для проведения эксперимента использовали биоценоз активного ила городских очистных сооружений г. Воронежа, для чего отбирали ВИС из колодцев вторичных отстойников.

На рисунке 1 показана установка по оценке влияния ПВС на биоценоз АИ (номера емкостей соответствуют номерам исследуемых систем).

Изучали 4 системы (емкости 1–4 на рисунке 1):

- система № 1 – ВИС без ПВС (контроль),
- система № 2 – Вода + ПВС 0,1 мас.%,
- система № 3 – ВИС + ПВС 0,1 мас.%,
- система № 4 – ВИС + ПВС 0,05 мас.%.



Рисунок 1. Установка по оценке влияния ПВС на биоценоз активного ила

Figure 1. Installation for assessing the impact of PVA on the biocenosis of activated sludge

Длительность проведения эксперимента составляла 7 суток.

Для оценки влияния ПВС на биоценоз АИ определяли в динамике гидрохимические (ГХ) и гидробиологические (ГБ) показатели по методикам, изложенным в ПНДФ СБ 14.1.77–96, ФР 1.31.2008.04397, ФР 1.31.2008.04398. Исследование видового разнообразия биоценоза АИ проводили с помощью оптического цифрового микроскопа Livenhuk G670T и Атласа микроорганизмов аэротенков.

Количественное определение концентрации ПВС в исследуемых системах проводили по показателю ХПК титриметрическим методом по ПНДФ 14.1:2:3.100–97 в присутствии избытка бихромата калия в растворе серной кислоты.

### Результаты

Изначально исходный АИ имел следующие структурные характеристики: доза ила по объему – 900 мл/л, доза ила по массе – 4,25 г/л, иловый индекс – 211 мл/1г.

Видовое разнообразие биоценоза исходного АИ включало представителей основных укрупненных индикаторных групп: бактерии, водоросли, простейшие, прикрепленные инфузории, коловратки. Пробы образцов характеризуются среднекомпактными хлопьями, но содержат также несколько повышенное количество нитчатых.

Высокие значения ИИ и повышенное количество нитчатых могут быть связаны с транспортировкой ВИС и временным снижением содержания кислорода в системе.

На рисунке 2 представлена динамика изменения гидрохимических показателей (ГХП) АИ в исследуемых системах.

Из рисунка 2 видно, что введение ПВС в ВИС оказывает положительное влияние на седиментацию ила, очевидно, выступая в качестве флокулянта. В системах № 3 и № 4 доза ила по объему снижалась на 10% через 1 сутки воздействия ПВС, и на 30–40% через 3 суток воздействия ПВС. Для контрольной системы № 1, не содержащей ПВС, доза ила по объему увеличивалась в течение всего эксперимента (что связано с постепенным вспуханием ила). При этом доза ила по массе в системе № 3 превышала на 20–30% дозу по массе ила в системе № 4, вероятно, это связано с сорбцией ПВС матриксом ила.

Иловый индекс систем, содержащих ПВС, снизился за 7 суток эксперимента практически в 2 раза.

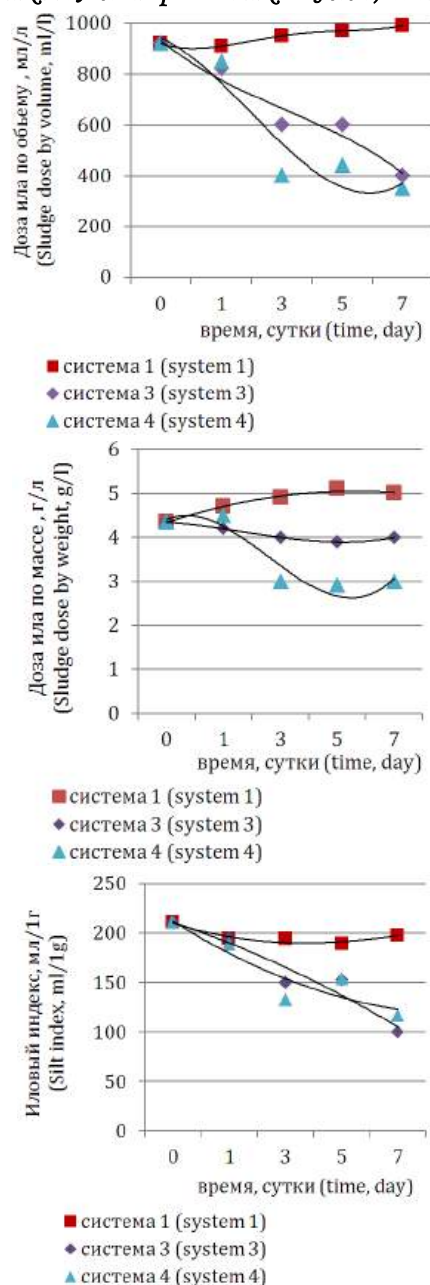


Рисунок 2. Динамика изменения гидрохимических показателей активного ила в исследуемых системах  
Figure 2. Dynamics of changes in hydrochemical parameters of activated sludge in the studied systems

На рисунке 3 показана динамика изменения показателя ХПК в исследуемых системах.

Из рис. 3 видно, что динамика изменения ХПК в исследуемых ВИС, содержащих ПВС, имеет однотипный характер, снижаясь через 1 сутки эксперимента на 30 и 20% соответственно для систем № 3 и 4, с последующим повышением на 3–5 сутки и снижением на 7 сутки. Предположительно, значительное снижение ХПК в первые сутки обосновано сорбцией ПВС на внеклеточном матриксе свежего ила, но затем происходит эмиссия повышающих ХПК веществ (десорбция). Далее постепенное их химическое и биологическое окисление приводит к снижению ХПК на 7 сутки.

Незначительное снижение ХПК в системе № 2, содержащей ПВС без АИ, вероятно связано с частичной адгезией полимера к поверхности аэротенка.

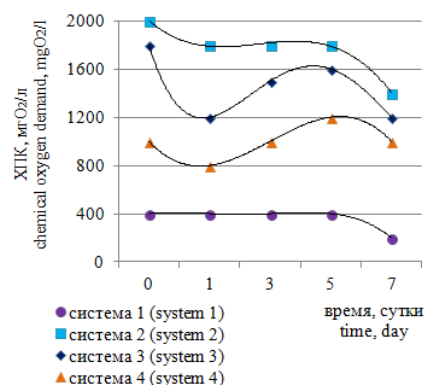


Рисунок 3. Динамика изменения показателя ХПК в исследуемых системах

Figure 3. Dynamics of changes in the chemical oxygen demand index in the studied systems

На рисунке 4 представлены микрофотографии биоценоза АИ в исследуемых системах в первые и пятые сутки проведения эксперимента.

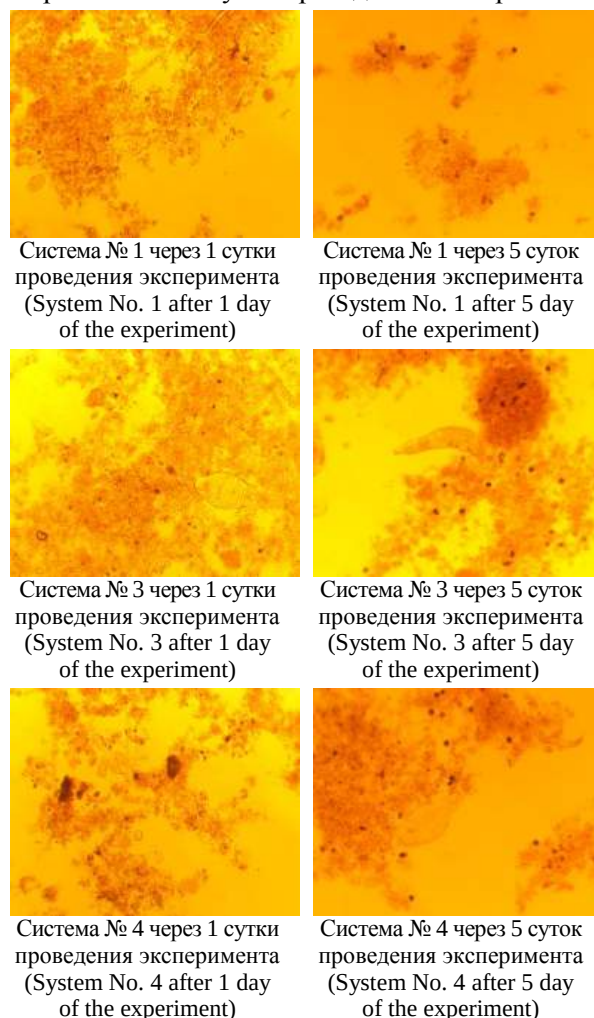


Рисунок 4. Микрофотографии биоценоза АИ (увеличение в 100 раз) в исследуемых системах  
Figure 4. Microphotographs of activated sludge biocenosis (100x magnification) in the studied systems

Удовлетворительно работающий АИ, как правило, характеризуется большим разнообразием простейших, постоянным присутствием *Aspidisca*, *Vorticella*, *Epistylis*. В голодающем АИ простейшие измельчаются, становятся прозрачными, коловратки вслед за инфузориями образуют цисты [14–16]. Нитрифицирующий АИ представлен *Philodina*, *Callidina*, *Carchesium*, *Arcella*. Перегруженный АИ характеризуется малым качественным видовым разнообразием при количественном преобладании 2–3 групп, присутствуют жгутиковые, мелкие амёбы, *Litonotus*, *Podophria*, *Opercularia*, *Sphaerotilus*. При дефиците кислорода наблюдается обильное развитие *Paramecium Caudatum* [17–20].

В системах № 3 и № 4 на 5 сутки эксперимента значительно увеличилось количество раковинных бентосных амёб, что свидетельствует о повышении нагрузок по загрязняющей органике, так как при этом увеличивается количество флокулирующих бактерий и концентрация питательного органического субстрата. Также наблюдали

достаточное количество жизнеспособных коловраток и брюхоносличных червей. В системе № 1 наблюдали гибель большинства микроорганизмов уже на 3 сутки.

### Заключение

Установлено, что введение ПВС в водно-иловую смесь в концентрациях 0,1 – 0,05 мас.% положительно влияет на ГХ и ГБ показатели неадаптированного голодающего активного ила, оказывая флокулирующий эффект и способствуя улучшению седиментационных свойств АИ, а также сохранению видового разнообразия за счет содержания питательных веществ.

Пороговая концентрация введения ПВС в водно-иловую смесь составляет 0,15 мас.% (что соответствует значениям ХПК около 2500 мгО<sub>2</sub>/л), более концентрированные растворы за счет высокого пенообразования и высокого значения ХПК способствуют выносу биомассы и ухудшению ГХ и ГБ показателей АИ.

### Литература

- 1 Губанова М.И., Баженов Н.С., Кирш И.А., Банникова О.А. и др. Исследование пленочных материалов, полученных из модифицированных растворных систем на основе поливинилового спирта // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 226–236. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-226-236
- 2 Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В. Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1 (87). С. 316–322. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-316-322
- 3 Byrne D., Boeijs G., Croft I., Hüttman G. et al. Biodegradability of Polyvinyl Alcohol Based Film Used for Liquid Detergent Capsules. *Biologische Abbaubarkeit der für Flüssigwaschmittelkapseln verwendeten Folie auf Polyvinylalkoholbasis. Tenside Surfactants Detergents*. 2021. V. 58. № 2. P. 88–96. doi:10.1515/tsd-2020-2326
- 4 Chiellini E., Corti A., D'Antone S., Solar R. Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials // *Progress in Polymer Science*. 2003. V. 28(6). P. 963–1014. doi:10.1016/s0079-6700(02)00149-1
- 5 Julinová M., Vaňharová L., Jurca M. Water-soluble polymeric xenobiotics – Polyvinyl alcohol and polyvinylpyrrolidone – And potential solutions to environmental issues // *A brief review. Journal of Environmental Management*. 2018. V. 228. P. 213–222. doi:10.1016/j.jenvman.2018.09.010
- 6 Solaro R., Corti A., Chiellini E. Biodegradation of poly(vinyl alcohol) with different molecular weights and degree of hydrolysis // *Polym Adv Technol*. 2000. V. 11. P. 873–878. doi:10.1002/1099-1581(200008/12)
- 7 Yamatsu A., Matsumi R., Atomi H., Imanaka T. Isolation and characterization of a novel poly(vinylalcohol) – degrading bacterium, *Sphingopyxis* sp. PVA3 // *Appl Microbiol Biotechnol*. 2006. V. 72. P. 804. doi:10.1007/s00253-006-0351-4
- 8 Chiellini E., Corti A., Del Sarto G., D'Antone S. Oxo-biodegradable polymers – effect of hydrolysis degree on biodegradation behaviour of poly(vinyl alcohol) // *Polym. Degrad. Stab.* 2006. V. 91. P. 3397–3406. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2006.05.021
- 9 Matsumura S., Kurita H., Shimokobe H. Anaerobic biodegradability of polyvinyl alcohol // *Biotechnol. Lett.* 1993. V. 15(7). P. 749–754. doi:10.1007/BF01080150
- 10 Marušincová H., Husárová L., Ržička J., Ingr M. et al. Polyvinyl alcohol biodegradation under denitrifying conditions // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2013. V. 84. P. 21–28. doi:10.1016/j.ibiod.2013.05.023
- 11 Алламуратова А.С., Сейтназарова О.М., Шарипова А.И., Абдикамалова А.Б. Синтетические водорастворимые полимеры и важнейшие отрасли их применения. *Universum: технические науки*. 2023. № 9–4(114). С. 47–53.
- 12 Nimesha S., Hewawasam C., Jayasanka D. J., Murakami Y. et al. Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment // *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2022. V. 8. №. 1. P. 101-116.
- 13 Bengtsson S., de Blois, M., Wilén, B. M., Gustavsson, D. Treatment of municipal wastewater with aerobic granular sludge // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2018. V. 48. №. 2. P. 119-166.
- 14 Студеникина Л.Н., Дочкина Ю.Н., Шелкунова М.В., Корчагин В.И. Оценка эффективности иммобилизации активного ила на композитных материалах "полиэтилен: полисахариды". Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4 (78). С. 356–360. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-356-360
- 15 Смирнов В.Б., Шевченко Н.П., Гуськов Д.А. Биоценоз активного ила аэротенков продленной аэрации. Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2021. № 3 (159). С. 54–63.

- 16 Брындина Л.В., Корчагина А.Ю. Влияние загрязнений сточных вод на биоценоз активного ила. Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 3 (39). С. 16–25. doi:10.34220/issn.2222–7962/2020.3/2
- 17 Wdowczyk A., Szymańska-Pulikowska A., Domańska M. Analysis of the bacterial biocenosis of activated sludge treated with leachate from municipal landfills //International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. V. 19. №. 3. P. 1801.
- 18 Polus M., Mucha Z., Mikosz J., Mucha M. Composition and variability of the activated sludge biocenosis in membrane biological reactors //Desalination and Water Treatment. 2022. V. 248. P. 39–48.
- 19 Белов С.Г., Акулич Т.И., Наумчик Г.О. Опыт эксплуатации сооружений очистки сточных вод: проблемы и их решение. Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. 2018. № 2 (110). С. 97–100.
- 20 Samer M. Biological and chemical wastewater treatment processes //Wastewater treatment engineering. 2015. V. 150. №. 10. P. 61250.

### References

- 1 Gubanova M.I., Bazhenov N.S., Kirsh I.A., Bannikova O.A. and others. Investigation of film materials obtained from modified polyvinyl alcohol-based solution systems // Proceedings of VSUET. 2023. Vol. 85. no. 2. pp. 226–236. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-226-236 (in Russian).
- 2 Studenikina L.N., Domareva S.Yu., Golenskikh Yu.E., Matveeva A.V. Features of highly filled composites based on various grades of polyvinyl alcohol // Proceedings of VSUET. 2021. Vol. 83. no. 1 (87). pp. 316–322. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-316-322 (in Russian).
- 3 Byrne D., Boeije G., Croft I., Hüttman G. et al. Biodegradability of Polyvinyl Alcohol Based Film Used for Liquid Detergent Capsules. Biologische Abbaubarkeit der für Flüssigwaschmittelkapseln verwendeten Folie auf Polyvinylalkoholbasis. Tenside Surfactants Detergents. 2021. Vol. 58. no 2. pp. 88–96. doi:10.1515/tsd-2020–2326
- 4 Chiellini E., Corti A., D’Antone S., Solar, R. Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials // Progress in Polymer Science. 2003. Vol. 28(6). pp. 963–1014. doi:10.1016/s0079–6700(02)00149–1
- 5 Julinová M., Vaňharová L., Jurca M. Water-soluble polymeric xenobiotics – Polyvinyl alcohol and polyvinylpyrrolidone – And potential solutions to environmental issues // A brief review. Journal of Environmental Management. 2018. Vol. 228. pp. 213–222. doi:10.1016/j.jenvman.2018.09.010
- 6 Solaro R., Corti A., Chiellini E. Biodegradation of poly(vinyl alcohol) with different molecular weights and degree of hydrolysis // Polym Adv Technol. 2000. Vol. 11. pp. 873–878. doi:10.1002/1099–1581(200008/12)
- 7 Yamatsu A., Matsumi R., Atomi H., Imanaka T. Isolation and characterization of a novel poly(vinylalcohol) – degrading bacterium, *Sphingopyxis* sp. PVA3 // Appl Microbiol Biotechnol. 2006. Vol. 72. pp. 804. doi:10.1007/s00253–006–0351–4
- 8 Chiellini E., Corti A., Del Sarto G., D’Antone S. Oxo-biodegradable polymers – effect of hydrolysis degree on biodegradation behaviour of poly(vinyl alcohol) // Polym. Degrad. Stab. 2006. Vol. 91. pp. 3397–3406. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2006.05.021
- 9 Matsumura S., Kurita H., Shimokobe H. Anaerobic biodegradability of polyvinyl alcohol // Biotechnol. Lett. 1993. Vol. 15(7). pp. 749–754. doi:10.1007/BF01080150
- 10 Marušincová H., Husárová L., Ržička J., Ingr M. et al. Polyvinyl alcohol biodegradation under denitrifying conditions // International Biodeterioration & Biodegradation. 2013. Vol. 84. pp. 21–28. doi:10.1016/J.IBIOD.2013.05.023
- 11 Allamuratova A.S., Seitnazarova O.M., Sharipova A.I., Abdikamalova A.B. Synthetic water-soluble polymers and the most important branches of their application. Universum: technical sciences. 2023. no. 9-4(114). pp. 47–53. (in Russian).
- 12 Nimesha S., Hewawasam C., Jayasanka D. J., Murakami Y. et al. Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment //Global Journal of Environmental Science and Management. 2022. Vol. 8. no. 1. pp. 101–116.
- 13 Bengtsson S., de Blois M., Wilén B. M., Gustavsson D. Treatment of municipal wastewater with aerobic granular sludge //Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2018. Vol. 48. no. 2. pp. 119–166.
- 14 Studenikina L.N., Dochkina J.N., Shelkunova M.V., Korchagin V.I. Evaluation of the effectiveness of immobilization of activated sludge on composite materials “polyethylene: polysaccharides”. Proceedings of VSUET. 2018. Vol. 80. no. 4 (78). pp. 356–360. doi:10.20914/2310–1202–2018–4–356–360 (in Russian).
- 15 Smirnov V.B., Shevchenko N.P., Guskov D.A. Biocenosis of activated sludge of extended aeration tanks. Water purification. Water treatment. Water supply. 2021. no. 3 (159). pp. 54–63. (in Russian).
- 16 Bryndina L.V., Korchagina A. Yu. The influence of wastewater pollution on the biocenosis of activated sludge. Forestry engineering journal. 2020. Vol. 10. no. 3 (39). pp. 16–25. doi:10.34220/issn.2222–7962/2020.3/2 (in Russian).
- 17 Wdowczyk A., Szymańska-Pulikowska A., Domańska M. Analysis of the bacterial biocenosis of activated sludge treated with leachate from municipal landfills //International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19. no. 3. pp. 1801.
- 18 Polus M., Mucha Z., Mikosz J., Mucha M. Composition and variability of the activated sludge biocenosis in membrane biological reactors //Desalination and Water Treatment. 2022. Vol. 248. pp. 39–48.
- 19 Belov S.G., Akulich T.I., Naumchik G.O. Experience in operating wastewater treatment facilities: problems and their solutions. Bulletin of the Brest State Technical University. Series: Water management construction, heat power engineering and geoecology. 2018. no. 2 (110). pp. 97–100. (in Russian).
- 20 Samer M. Biological and chemical wastewater treatment processes //Wastewater treatment engineering. 2015. Vol. 150. no. 10. pp. 61250.

# Сведения об авторах

**Любовь Н. Студеникина** к.т.н., доцент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [lovov-churkina@ya.ru](mailto:lovov-churkina@ya.ru)

 <https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

**Владимир И. Корчагин** студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [kvi-vgt@rambler.ru](mailto:kvi-vgt@rambler.ru)

 <https://orcid.org/0000-0001-7212-1627>

**Ангелика А. Савина** студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [angelikasavina05@gmail.com](mailto:angelikasavina05@gmail.com)

**Татьяна Р. Поваляева** студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [tanuapovaluaeva\\_2003@mail.ru](mailto:tanuapovaluaeva_2003@mail.ru)

**Александр А. Мельников** студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [melnikov.shura@inbox.ru](mailto:melnikov.shura@inbox.ru)

## Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# Information about authors

**Lyubov N. Studenikina** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [lovov-churkina@ya.ru](mailto:lovov-churkina@ya.ru)

 <https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

**Viadimir I. Korchagin** professor, Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [kvi-vgt@rambler.ru](mailto:kvi-vgt@rambler.ru)

 <https://orcid.org/0000-0001-7212-1627>

**Angelika A. Savina** Student, Voronezh State University of Engineering Technologies, Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [angelikasavina05@gmail.com](mailto:angelikasavina05@gmail.com)

**Tatiana R. Povaljatva** student, Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [tanuapovaluaeva\\_2003@mail.ru](mailto:tanuapovaluaeva_2003@mail.ru)

**Alexandr A. Melnikov** **Alexandr A. Melnikov**, student Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, [melnikov.shura@inbox.ru](mailto:melnikov.shura@inbox.ru)

## Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 22/10/2024 | После редакции 15/11/2024      | Принята в печать 25/11/2024 |
| Received 22/10/2024  | Accepted in revised 15/11/2024 | Accepted 25/11/2024         |

## Интенсификация процесса производства экстракта солодкового корня

|                                    |                                                                |                                                                                                         |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Екатерина В. Соколова <sup>1</sup> | <a href="mailto:k_sokolova93@mail.ru">k_sokolova93@mail.ru</a> |  0000-0003-2663-1786 |
| Юрий А. Максименко <sup>1</sup>    | <a href="mailto:amxs1@yandex.ru">amxs1@yandex.ru</a>           |  0000-0001-7973-1903 |
| Ольга И. Коннова <sup>1</sup>      | <a href="mailto:okonnova88@gmail.com">okonnova88@gmail.com</a> |  0000-0002-2146-5443 |

<sup>1</sup> Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия

**Аннотация.** Солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*) – многолетнее травянистое растение из семейства бобовых, широко известное своими лечебными свойствами. Ее корни содержат большое количество биологически активных веществ, в том числе глицирризин – соединение, придающее растению сладкий вкус и обладающее множеством полезных свойств. Экстракт солодки находит широкое применение в пищевой промышленности благодаря своим уникальным свойствам: способствует улучшению текстуры и консистенции продуктов, в качестве эмульгатора помогает смешивать несмешиваемые компоненты, а также обладает антимикробными свойствами, продлевая срок годности продуктов. Традиционные методы экстракции солодки требуют длительного времени и значительных затрат. В данной работе представлена новая технология получения экстракта солодкового корня, основанная на применении микроволнового воздействия. Исследование показало, что использование микроволновой обработки экстракционной смеси позволяет существенно сократить время экстракции и повысить выход целевых веществ. Рационализация параметров процесса, таких как мощность микроволнового излучения, температура и время обработки, позволила достичь максимальной эффективности экстракции. В результате комплексных экспериментально-аналитических исследований предложен способ получения густого экстракта солодкового корня. Механическое и циркуляционное перемешивание экстракционной смеси повышает скорость внутреннего теплообмена и массообмена на границе раздела фаз при экстрагировании, способствуя формированию развитой поверхности фазового контакта и ее обновлению посредством конвективных диффузионных процессов. Предложенная технология отличается экологической безопасностью, так как в качестве экстрагента используется вода, а применение микроволнового излучения позволяет снизить энергозатраты. Полученный экстракт соответствует требованиям государственного стандарта и обладает высокой эффективностью. Результаты проведенных исследований открывают перспективы для широкого применения данной технологии в пищевой промышленности.

**Ключевые слова:** солодковый корень, экстракт, микроволновая обработка, глицирризиновая кислота, перколяция, биологически активные вещества.

## Intensification of the licorice extract production process

|                                    |                                                                |                                                                                                           |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ekaterina V. Sokolova <sup>1</sup> | <a href="mailto:k_sokolova93@mail.ru">k_sokolova93@mail.ru</a> |  0000-0003-2663-1786 |
| Yuri A. Maksimenko <sup>1</sup>    | <a href="mailto:amxs1@yandex.ru">amxs1@yandex.ru</a>           |  0000-0001-7973-1903 |
| Olga I. Konnova <sup>1</sup>       | <a href="mailto:okonnova88@gmail.com">okonnova88@gmail.com</a> |  0000-0002-2146-5443 |

<sup>1</sup> Astrakhan State Technical University, st. Tatishcheva, building 16/1, Astrakhan, 414056, Russia

**Abstract.** Licorice glabra (*Glycyrrhiza glabra*) is a perennial herbaceous plant from the legume family, widely known for its medicinal properties. Its roots contain a large number of biologically active substances, including glycyrrhizin, a compound that gives the plant a sweet taste and has many useful properties. Licorice extract is widely used in the food industry due to its unique properties: It improves the texture and consistency of products, helps to mix immiscible components as an emulsifier, and also has antimicrobial properties, extending the shelf life of products. Traditional licorice extraction methods require a long time and significant costs. This paper presents a new technology for obtaining licorice root extract based on the use of microwave exposure. The study showed that the use of microwave treatment of the extraction mixture can significantly reduce the extraction time and increase the yield of target substances. The rationalization of process parameters, such as microwave power, temperature and processing time, made it possible to achieve maximum extraction efficiency. As a result of complex experimental and analytical studies, a method for obtaining a thick licorice root extract has been proposed. Mechanical and circulating mixing of the extraction mixture increases the rate of internal heat and mass transfer and mass transfer at the interface during extraction, contributing to the formation of a developed phase contact surface and its renewal through convective diffusion processes. The proposed technology is characterized by environmental safety, since water is used as an extractant, and the use of microwave radiation reduces energy consumption. The resulting extract meets the requirements of the state standard and is highly effective. The results of the conducted research open up prospects for the wide application of this technology in the food industry.

**Keywords:** licorice root, extract, microwave processing, glycyrrhizic acid, percolation, biologically active substances.

Для цитирования

Соколова Е.В., Максименко Ю.А., Коннова О.И. Интенсификация процесса производства экстракта солодкового корня // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 185–190. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-185-190

For citation

Sokolova E.V., Maksimenko Yu.A., Konnova O.I. Intensification of the licorice extract production process. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 185–190. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-185-190

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Солодка является многолетним травянистым растением семейства бобовых [1]. Солодка растет в районах с резко континентальным климатом, с сильной жарой летом и холодом зимой и большими перепадами температур днем и ночью. Солодка может расти на песчаной почве, содержащей кальций, с сухим поверхностным слоем и глубокой влажностью почвы [2].

Корень солодки является универсальным сырьем растительного происхождения, содержащим широкий спектр биологически активных веществ, в частности, глицирризиновую кислоту, ликвиритин и ликвиритигенин [2]. Продукты переработки солодки широко используются в фармацевтической и пищевой промышленности.

В пищевых целях используется солодка голая и солодка уральская, что предусмотрено ТР ТС 029/2012 [3].

Экстракт солодкового корня применяется для производства какао, маринадов, кофе, киселей, компотов, халвы, мучных изделий, пастилы и шоколада, а также в качестве вкусо-ароматической добавки.

Существует множество методов, с помощью которых возможно получить экстракты из растительного сырья, в частности, солодкового корня (настаивание, мацерация, перколяция и др.), однако, традиционные методы требуют длительного времени, больших расходов растворителя и энергии, что приводит к высокой стоимости [4].

Большинство традиционных методов экстракции зависят от экстракционного потенциала растворителя, применения перемешивания [5], температуры, типа и концентрации субстрата, размера частиц [4].

Эффективность экстракции, параметры, стоимость обработки играют ключевую роль наряду для принятия решения о подходе к организации процесса экстракции и выходе целевых компонентов [4].

Одним из самых распространенных методов экстракции считается мацерация. В исследовании [1] для получения экстракта методом мацерации в качестве растворителя использовались различные органические экстрагенты (метанол в кислой среде, метанол, метанол в щелочной среде), процесс был осуществлен в течение 8 часов и постоянном перемешивании смеси, гидро модуль 1:40. Результаты исследования показали, что максимальный выход экстракта составил в пределах от  $13,35 \pm 0,4\%$  до  $15,66 \pm 0,47\%$ .

В исследовании [6] также применялась мацерация, но уже с отвариванием [5] и использованием при этом других органических растворителей ( $0,25\%$  раствор гидроксида аммония,

ацетон, этанол). Обосновано применение растворителей тем, что по результатам экспериментов в полученных экстрактах содержится наибольшее количество глицирризиновой кислоты, при этом содержание экстрактивных веществ составило от  $21,70 \pm 1,81\%$  до  $26,74 \pm 1,99\%$ .

Метод производства экстракта солодки, в соответствии с патентом [7] и применением в качестве экстрагента – раствора аммиака в водном растворе ацетона, является эффективным, поскольку полученный продукт, помимо глицирризина, содержит большое количество поверхностно-активных веществ. Стоит отметить, что способ позволил сократить продолжительность экстракции за счет диффузионного сопротивления. Однако, использование раствора аммиака в водном растворе ацетона снижает его безопасность для применения в пищу.

Известен способ, ориентированный на максимальное извлечение сапонинов [8], чье фармакологическое применение является довольно обширным, поскольку сапонинсодержащие экстракты используют как противовоспалительные, гепатопротекторные, отхаркивающие и заживляющие средства, а также эти экстракты широко используются в качестве пищевых ароматизаторов. Способ основан на мацерации с использованием органического растворителя – этанола. При этом способ отличается небольшим количеством времени, которое будет затрачено на экстракцию – всего 5–7 мин при температуре  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  с использованием ультразвукового воздействия. Экстракция корня солодки этанолом также рассмотрена в исследовании китайских ученых [9].

Получение экстракта с целью извлечения глицирризиновой кислоты рассмотрено в работе [10]. Экстрагирование проводилось при высоких температурах ( $120$ ,  $150$  и  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), давлении и применением растворов аммиака в воде, азотной кислоты в ацетоне и использование субкритической воды. Установлено, что эффективным способом является экстракция субкритической водой при  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , давление  $5\text{ МПа}$ , скорость потока экстрагента  $1,7\text{ см}^3/\text{мин}$ , гидро модуль 1:7.

Способ совместной экстракции функциональных компонентов солодки [11] заключается в следующем: солодку замачивают в воде, затем отваривают, далее полученный водный экстракт подвергают спиртовому осаждению с получением спиртовой жидкости для осаждения и продукта спиртового осаждения. Температура водного отвара  $95\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Количество отваров – 2–3 раза, продолжительность каждого отвара составляет 1–2 часа.

Каждый из рассмотренных способов получения экстракта солодкового корня имеет свои особенности и преимущества. Однако, использование органических реактивов может

сказаться на безопасности полученного продукта, что может сделать его небезопасным для применения в пищу и, что идет в противоречие имеющемуся и действующему ГОСТ 22840–77 Экстракт солодового корня [12].

Таким образом, актуальны исследования, направленные на научно-практическое обоснование и разработку технологии производства экстракта солодового корня, основанной на рациональном сочетании взаимозависимых процессов подготовки сырья, водной экстракции, фильтрации и вакуум-выпаривания.

Цель работы – разработка и рационализации технологического процесса получения экстракта солодового корня с использованием микроволнового воздействия, направленного на повышение выхода целевых веществ (глицирризиновой кислоты), сокращение времени экстракции и обеспечение высокого качества конечного продукта.

### Объекты и методы исследования

При исследовании процессов экстракции использовались корни солодки голой (*Glycyrrhiza glabra*), выращенной в Красноярском районе Астраханской области. В работе применялись как традиционные, так и экспериментальные методы исследования.

### Результаты и обсуждение

В результате комплексных экспериментально-аналитических исследований предложен способ

получения густого экстракта солодового корня. Сухой солодовый корень влажностью 8–12% измельчают дроблением до размера частиц 3–7 мм, экстрагирование проводят методом перколяции, пропуская экстрагент-воду через слой сырья в соотношении гидромодуля сырье: вода 1:8–1:12 при температуре 50–60°C в течение 4–6 часов и микроволновом воздействии на смесь частотой 2450 МГц и мощностью 600–1000 Вт при механическом перемешивании смеси со скоростью 15–30 об/мин и циркуляционном перемешивании с кратностью циркуляции 20 – 30 объемов/час, фильтрование экстракта проводят механически через фильтрующую перегородку, затем осуществляют концентрирование путем вакуум-выпаривания экстракта при температуре 55–60°C и остаточном давлении  $\leq 4$  кПа до содержания сухих веществ 62–68%. В качестве сырья использовался измельченный корень солодки (ГОСТ 22839–88 «Корни и корневища солодки» [13]), выращенный в Астраханской области в Красноярском районе.

Кроме лабораторных исследований проведены опытно-промышленные испытания с использованием двухкорпусной экстракционной установки с СВЧ-обработкой экстракционной смеси (рисунок 1) при различном сочетании основных факторов и получены экстрактные растворы, которые далее подвергались фильтрованию и вакуум-выпариванию.



Рисунок 1. Двухкорпусная экстракционная установка с СВЧ-обработкой экстракционной смеси  
Figure 1. Double-shell extraction unit with microwave treatment of the extraction mixture

Проведены испытания рационального режима. Сухой солодовый корень массой 5 кг влажностью 10% измельчали дроблением до размера частиц 3–7 мм, далее проводилось экстрагирование методом перколяции, пропуская экстрагент-воды через слой сырья в соотношении гидромодуля сырье: вода 1:8 при температуре 60 °C в течение 4 часов и микроволновом воздействии на смесь частотой

2450 МГц и мощностью 1000 Вт при механическом перемешивании смеси со скоростью 30 об/мин и циркуляционном перемешивании с кратностью циркуляции 30 объемов/час, фильтрование экстракта проводилось механически через фильтрующую перегородку, затем проводилось концентрирование путем вакуум-выпаривания экстракта при температуре 60 °C и остаточном давлении  $\leq 4$  кПа до содержания

сухих веществ 65%. Из 5 кг сухого корня солодки было получено 2,44 кг густого экстракта влажностью 35%, содержащего 0,483 кг глицирризиновой кислоты, что составляет 19,8%.

В таблице 1 представлены результаты испытаний опытно-промышленной партии экстракта.

Таблица 1.

Результаты испытаний экстракта на соответствие требований  
ГОСТ 22840–77 «Экстракт солодкового корня. Технические условия»

Table 1.

The results of testing the extract for compliance with the requirements of  
GOST 22840-77 "Licorice root extract. Technical specifications"

| Показатель   Indicator                                                                                           | Результат<br>Value | Норматив<br>Norm                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Органолептические показатели   Organoleptic parameters                                                           |                    |                                                                                                                           |
| Вкус   Taste                                                                                                     | Соответствует      | Приторно-сладкий, слегка раздражающий<br>Lusciously sweet, slightly irritating                                            |
| Внешний вид   Appearance                                                                                         |                    | Густая однородная масса без комков и посторонних включений<br>Thick homogeneous mass without lumps and foreign inclusions |
| Запах   Odor                                                                                                     |                    | Слабый, своеобразный<br>Faint, peculiar                                                                                   |
| Цвет   Color                                                                                                     |                    | Темно-коричневый<br>Dark brown                                                                                            |
| Показатели качества   Quality indicators                                                                         |                    |                                                                                                                           |
| Глицирризиновая кислота, %   Glycyrrhizic acid, %                                                                | 19,8               | >18                                                                                                                       |
| Массовая доля веществ, не растворимых в горячей воде, %<br>Mass fraction of substances insoluble in hot water, % | 2,4                | <2,5                                                                                                                      |
| Физико-химические показатели   Physico-chemical parameters                                                       |                    |                                                                                                                           |
| Влажность, %   Moisture, %                                                                                       | 35                 | 32–38                                                                                                                     |
| Массовая доля общей золы, %   Mass fraction of total ash, %                                                      | 6,1                | <9                                                                                                                        |

Установлено, что увеличение мощности микроволнового излучения приводит к интенсификации процесса экстракции, повышение температуры способствует увеличению скорости экстракции, увеличение скорости механического перемешивания и кратности циркуляции способствует интенсификации тепломассообмена между твердой и жидкой фазами, что положительно сказывается на эффективности экстракции, повышении выхода глицирризиновой кислоты.

За счет подвода микроволновой энергии к молекулам воды происходит колебательное движение дипольных молекул, что способствует проникновению молекул воды в поры корней солодки и диффузии экстрактивных веществ в раствор. За счет колебательного движения молекул воды, как и в других несовершенных

диэлектриках, выделяется тепловая энергия, то есть вода нагревается, что также увеличивает скорость извлечения экстрактивных веществ [14-16].

### Заключение

Механическое и циркуляционное перемешивание экстракционной смеси повышает скорость внутреннего тепломассопереноса и массообмена на границе раздела фаз при экстрагировании, способствуя формированию развитой поверхности фазового контакта и ее обновлению посредством конвективных диффузионных процессов.

Предложенный метод перколяции с использованием воды в качестве экстрагента и микроволнового воздействия на экстракционную смесь является перспективным и определяет экологическую безопасность производства [17-20].

### Литература

- 1 Бабич О.О., Ульрих Е.В., Ларина В.В., Бахтиярова А.Х. Исследование состава и свойств экстрактов *Glycyrrhiza Glabra*, выращенной в Калининградской области, и перспективы ее применения // Пищевые системы. 2022. Т. 5. № 3. С. 261–270.
- 2 Yan B., Hou J., Li W., Luo L. A review on the plant resources of important medicinal licorice // *Journal of Ethnopharmacology*. 2023. V. 301. P. 115823. doi: 10.1016/j.jep.2022.115823
- 3 ТР ТС 029/2012. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств.
- 4 Sridhar A., Vaishampayan V., Senthil Kumar P., Ponnuchamy M. Extraction techniques in food industry: Insights into process parameters and their optimization. *Food Chem Toxicol*. 2022. V. 166. P. 113207. doi: 10.1016/j.fct.2022.113207

- 5 Pavankumar R. M., Anet R. J., Shalini S. A. Green, environment-friendly and sustainable techniques for extraction of food bioactive compounds and waste valorization // Trends in Food Science & Technology. 2022. V. 128. P. 296–315. doi: 10.1016/j.tifs.2022.08.016
- 6 Хабибрахманова В.Р., Сысоева М.А., Халед Ш.М., Габдрахманова А.Р. Выбор экстрагента для увеличения выхода тритерпеноидных веществ и флавоноидов из сырья и шрота корня солодки (*Glycyrrhizae Radices*) // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2016. Т. 19. № 11. С. 16–21.
- 7 Пат. № 2253463, RU. Способ производства сухого экстракта солодки. Квасенков О.И., Тюрюков А.Б. № 2003128323/15; Заявл. 22.09.2003; Опубл. 10.06.2005.
- 8 Пат. № 2678840, RU. Способ получения сапонинсодержащего экстракта. Бутова С.Н., Сальникова В.А., Щеголева И.Д. № 2018114097; Заявл. 17.04.2018; Опубл. 04.02.2019.
- 9 Pat. no. 113813300, CN. Preparation method and application of glycyrrhiza glabra extract / He Fei, Xin Xuelei, Wu Tao, Cheng Zhen. no. 202111287796.X. Appl. 02.11.2021; Publ. 21.12.2021.
- 10 Павлова Л.В., Платонов И.А., Куркин В.А., Новикова Е.А. и др. Определение глицирризиновой кислоты в корнях солодки методом ВЭЖХ с субкритической экстракцией // Аналитика и контроль. 2018. Т. 22. № 3. С. 229–235.
- 11 Pat. no. 116554257, CN. Combined extraction method for functional factors of liquorice / Chen Jianle, Wang Qi, Ye Xingqian, Kwak Dong-Ki et al. no. 202310528544.4. Appl. 11.05.2023; Publ. 08.08.2023.
- 12 ГОСТ 22840–77 Экстракт солодкового корня. Технические условия. М: Стандартинформ, 6 с.
- 13 ГОСТ 22839–88 Корни и корневища солодки. Технические условия. М: Стандартинформ, 4 с.
- 14 Ушакова Н.Ф., Копысова Т.С., Касаткин В.В., Кудряшова А.Г. Опыт применения СВЧ-энергии при производстве пищевых продуктов // Пищевая промышленность. 2013. № 10. С. 30–32.
- 15 Karami Z., Emam-Djomeh Z., Mirzaee H.A., Khomeiri M. et al. Optimization of microwave assisted extraction (MAE) and soxhlet extraction of phenolic compound from licorice root // Journal of food science and technology. 2015. V. 52. P. 3242-3253.
- 16 Саидов С. С., Каримов Р. К., Таджибаева М. Р., Донияров Г. Т. и др. Оптимизация процесса экстракции корня солодки // Universum: технические науки. 2023. №6-3 (111). С. 61-66.
- 17 Лисовой В. В., Першакова Т. В., Корнен Н. Н., Ачмиз А. Д. и др. Применение ЭМП СВЧ в технологиях переработки растительного сырья и вторичных ресурсов // Научный журнал КубГАУ. 2016. №118. С.1350-1362.
- 18 Jang S., Lee A. Y., Lee A. R., Choi G. et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice using response surface methodology // Integrative medicine research. 2017. V. 6. №. 4. P. 388-394.
- 19 Ciganović P., Jakimiuk K., Tomczyk M., Zovko Končić M. Glycerolic licorice extracts as active cosmeceutical ingredients: Extraction optimization, chemical characterization, and biological activity // Antioxidants. 2019. V. 8. №. 10. P. 445.
- 20 Giah E., Jahadi M., Khosravi-Darani K. Enzyme-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice roots using heat reflux and ultrasound methods // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2021. V. 33. P. 101953.

### References

- 1 Babich O.O., Ulrikh E.V., Larina V.V., Bakhtiyarova A. Kh. Study of the composition and properties of Glycyrrhiza Glabra extracts grown in the Kaliningrad region and the prospects for its use // Food Systems. 2022. Vol. 5. no. 3. pp. 261–270. (in Russian).
- 2 Yan B., Hou J., Li W., Luo L. A review on the plant resources of important medicinal licorice // Journal of Ethnopharmacology. 2023. Vol. 301. pp. 115823. doi:10.1016/j.jep.2022.115823
- 3 Technical Regulations of the Customs Union TR CU 029/2012 Safety Requirements for Food Additives, Flavorings and Processing Aids. (in Russian).
- 4 Sridhar A., Vaishampayan V., Senthil Kumar P., Ponnuchamy M. Extraction techniques in food industry: Insights into process parameters and their optimization // Food Chem Toxicol. 2022. Vol. 166. pp. 113207. doi:10.1016/j.fct.2022.113207
- 5 Pavankumar R. M., Anet R. J., Shalini S. A. Green, environment-friendly and sustainable techniques for extraction of food bioactive compounds and waste valorization // Trends in Food Science & Technology. 2022. Vol. 128. pp. 296–315. doi:10.1016/j.tifs.2022.08.016
- 6 Khabibrakhmanova V.R., Sysoeva M.A., Khaled Sh. M., Gabdrakhmanova A.R. Selection of an extractant to increase the yield of triterpenoid substances and flavonoids from raw materials and licorice root meal (*Glycyrrhizae Radices*) // Issues of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry. 2016. Vol. 19. no. 11. pp. 16–21. (in Russian).
- 7 Kvasenkov O.I., Tyuryukov A.B. Method of production of dry licorice extract. Patent RF, no. 2253463, 2005. (in Russian).
- 8 Butova S.N., Salnikova V.A., Shchegoleva I.D. Method for producing a saponin-containing extract. Patent RF, no. 2678840, 2019. (in Russian).
- 9 He Fei, Xin Xuelei, Wu Tao, Cheng Zhen et al. Preparation method and application of glycyrrhiza glabra extract. Patent CN, no. 113813300, 2021.
- 10 Pavlova L.V., Platonov I.A., Kurkin V.A., Novikova E.A. et al. Determination of glycyrrhizic acid in licorice roots by HPLC with subcritical extraction // Analytics and control. 2018. Vol. 22. no. 3. pp. 229–235. (in Russian).
- 11 Chen Jianle, Wang Qi, Ye Xingqian, Kwak Dong-Ki et al. Combined extraction method for functional factors of liquorice. Patent CN, no. 116554257, 2023.
- 12 State Standart 22840–77. Licorice root extract. Specifications. Moscow: Standartinform, 6 p. (in Russian).
- 13 State Standart 22839–88. Licorice roots and rhizomes. Specifications. Moscow: Standartinform, 4 p. (in Russian).
- 14 Ushakova N.F., Kopysova T.S., Kasatkin V.V., Kudryashova A.G. Experience in using microwave energy in food production // Food industry. 2013. no. 10. pp. 30–32. (in Russian).

- 15 Karami Z., Emam-Djomeh Z., Mirzaee H.A., Khomeiri M. et al. Optimization of microwave assisted extraction (MAE) and soxhlet extraction of phenolic compound from licorice root // *Journal of food science and technology*. 2015. Vol. 52. pp. 3242-3253.
- 16 Saidov S. S., Karimov R. K., Tadjibayeva M. R., Doniyarov G. T. et al. Optimization of licorice root extraction process // *Universum: technical sciences*. 2023. no.6-3 (111). pp. 61-66. (in Russian).
- 17 Lisovoy V. V., Pershakova T. V., Komen N. N., Achmiz A.D. et al. The use of microwave EMF in technologies for processing plant raw materials and secondary resources // *KubGAU Scientific Journal*. 2016. no.118. pp. 1350-1362. (in Russian).
- 18 Jang S., Lee A. Y., Lee A. R., Choi G. et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice using response surface methodology // *Integrative medicine research*. 2017. Vol. 6. no. 4. pp. 388-394.
- 19 Ciganović P., Jakimiuk K., Tomczyk M., Zovko Končić M. Glycerolic licorice extracts as active cosmeceutical ingredients: Extraction optimization, chemical characterization, and biological activity // *Antioxidants*. 2019. Vol. 8. no. 10. pp. 445.
- 20 Giahi E., Jahadi M., Khosravi-Darani K. Enzyme-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice roots using heat reflux and ultrasound methods // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021. Vol. 33. pp. 101953.

**Сведения об авторах**

**Екатерина В. Соколова** ассистент, кафедра технологические машины и оборудование, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, k\_sokolova93@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2663-1786>

**Юрий А. Максименко** д.т.н., профессор, кафедра технологические машины и оборудование, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, amxs1@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7973-1903>

**Ольга И. Коннова** ассистент, кафедра технология товаров и товароведение, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, 414056, Россия, okonnova88@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2146-5443>

**Вклад авторов**

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about authors**

**Ekaterina V. Sokolova** assistant, Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, Russia, 414056, k\_sokolova93@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2663-1786>

**Yuri A. Maksimenko** Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, Russia, 414056, amxs1@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7973-1903>

**Olga I. Konnova** assistant, Department of Technology of Goods and Commodity Science, Astrakhan State Technical University, Tatishchev St., Bldg. 16/1, Astrakhan, Russia, 414056, okonnova88@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2146-5443>

**Contribution**

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

|                             |                                       |                                    |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Поступила</b> 21/10/2024 | <b>После редакции</b> 18/11/2024      | <b>Принята в печать</b> 20/11/2024 |
| <b>Received</b> 21/10/2024  | <b>Accepted in revised</b> 18/11/2024 | <b>Accepted</b> 20/11/2024         |

## Технология и аппаратурное оформление производства инулинсодержащего порошка

|                        |              |                                                                    |                                                                                                         |
|------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Дмитрий А. Казарцев    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kda_79@mail.ru">kda_79@mail.ru</a>                 |  0000-0001-6597-2327 |
| Анатолий А. Славянский | <sup>1</sup> | <a href="mailto:a.slavyanskiy@mgutm.ru">a.slavyanskiy@mgutm.ru</a> |  0000-0002-0262-8841 |
| Андрей И. Ключников    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kaivanov@mail.ru">kaivanov@mail.ru</a>             |  0000-0002-8161-0040 |
| Наталья Н. Лебедева    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:n.lebedeva@mgutm.ru">n.lebedeva@mgutm.ru</a>       |  0000-0003-4936-7498 |
| Николай Д. Лукин       | <sup>2</sup> | <a href="mailto:vniik@arrisp.ru">vniik@arrisp.ru</a>               |  0000-0002-2142-1897 |
| Татьяна С. Пучкова     | <sup>2</sup> | <a href="mailto:puchkovats@yandex.ru">puchkovats@yandex.ru</a>     |  0000-0002-7657-6730 |

1 Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

2 Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», ул. Некрасова, д. 11, дп. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., 140051, Россия

**Аннотация.** Проблема хранения клубней топинамбура действительно может быть препятствием для широкого использования этого растения в пищевой промышленности. Топинамбур имеет высокую влажность и склонен к быстрой порче при неправильном хранении, особенно если условия окружающей среды не контролируются должным образом. Разработка эффективных решений для хранения и переработки топинамбура открывает новые возможности для его использования в пищевой индустрии. Современные технологии позволяют минимизировать риски порчи сырья и улучшить качество конечной продукции. Это создаёт предпосылки для расширения применения топинамбура в различных отраслях, включая пищевую промышленность. Разработанная технологическая схема включает последовательные этапы: предварительную подготовку и мойку сырья, механическое измельчение клубней, экстракцию инулина, фильтрацию и очистку экстракта, вакуумное выпаривание и финальную распылительную сушку. В ходе исследований установлено, что выбранные режимы сушки (температура до 180°C) позволяют сохранить углеводный состав порошка неизменным, обеспечивая содержание инулина на уровне 84–85%. Это гарантирует сохранение пребиотических свойств и функциональной ценности готового продукта. Полученный инулинсодержащий порошок отличается низким уровнем остаточной влажности, что способствует увеличению сроков хранения и снижению риска микробиологической порчи. Технология минимизирует потери сырья, снижает энергозатраты и упрощает процессы упаковки и транспортировки. Кроме того, комплексная переработка позволяет эффективно использовать побочные продукты, повышая рентабельность производства. Внедрение данной технологии в промышленность открывает перспективы для импортозамещения и создания локального производства высококачественного инулина, востребованного на растущем рынке функционального питания и биологически активных добавок. Таким образом, разработанная технология способствует расширению использования топинамбура и устойчивому развитию агропромышленного комплекса.

**Ключевые слова:** инулин, инулинсодержащий порошок, топинамбур, технология переработки топинамбура, аппаратурное оформление.

## Technology and equipment for the production of inulin-containing powder

|                         |              |                                                                    |                                                                                                           |
|-------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dmitriy A. Kazartsev    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kda_79@mail.ru">kda_79@mail.ru</a>                 |  0000-0001-6597-2327 |
| Anatoliy A. Slavyanskiy | <sup>1</sup> | <a href="mailto:a.slavyanskiy@mgutm.ru">a.slavyanskiy@mgutm.ru</a> |  0000-0002-0262-8841 |
| Andrey I. Klyuchnikov   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kaivanov@mail.ru">kaivanov@mail.ru</a>             |  0000-0002-8161-0040 |
| Natalya N. Lebedeva     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:n.lebedeva@mgutm.ru">n.lebedeva@mgutm.ru</a>       |  0000-0003-4936-7498 |
| Nikolay D. Lukin        | <sup>2</sup> | <a href="mailto:vniik@arrisp.ru">vniik@arrisp.ru</a>               |  0000-0002-2142-1897 |
| Tatyana S. Puchkova     | <sup>2</sup> | <a href="mailto:puchkovats@yandex.ru">puchkovats@yandex.ru</a>     |  0000-0002-7657-6730 |

1 K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy val st., 73, Moscow, 109004, Russia

All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, 2 Nekrasova St., 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, 140051, Russia

**Abstract.** The problem of storing jerusalem artichoke tubers can indeed be an obstacle to the widespread use of this plant in the food industry. Jerusalem artichoke has high humidity and is prone to rapid deterioration if stored improperly, especially if environmental conditions are not properly controlled. The development of effective solutions for the storage and processing of jerusalem artichoke opens up new opportunities for its use in the food industry. Modern technologies make it possible to minimize the risks of spoilage of raw materials and improve the quality of final products. This creates the prerequisites for expanding the use of jerusalem artichoke in various industries, including the food industry. The developed technological scheme includes successive stages: preliminary preparation and washing of raw materials, mechanical crushing of tubers, inulin extraction, filtration and purification of the extract, vacuum evaporation and final spray drying. In the course of research, it was found that the selected drying modes (temperature up to 180 °C) make it possible to keep the carbohydrate composition of the powder unchanged, ensuring the inulin content at the level of 84-85%. This ensures that the prebiotic properties and functional value of the finished product are preserved. The resulting inulin-containing powder has a low level of residual moisture, which helps to increase shelf life and reduce the risk of microbiological spoilage. The technology minimizes the loss of raw materials, reduces energy consumption and simplifies packaging and transportation processes. In addition, complex processing allows efficient use of by-products, increasing the profitability of production. The introduction of this technology into industry opens up prospects for import substitution and the creation of local production of high-quality inulin, which is in demand in the growing market of functional nutrition and dietary supplements. Thus, the developed technology contributes to the expansion of the use of jerusalem artichoke and the sustainable development of the agro-industrial complex.

**Keywords:** inulin, inulin-containing powder, jerusalem artichoke, jerusalem artichoke processing technology, hardware design.

### Для цитирования

Казарцев Д.А., Славянский А.А., Ключников А.И., Лебедева Н.Н., Лукин Н.Д., Пучкова Т.С. Технология и аппаратурное оформление производства инулинсодержащего порошка // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 85. № 4. С. 191–200. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-191-200

### For citation

Kazartsev D.A., Slavyanskiy A.A., Klyuchnikov A.I., Lebedeva N.N., Lukin N.D., Puchkova T.S. Technology and equipment for the production of inulin-containing powder. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 85. no. 4. pp. 191–200. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-191-200

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

В последние годы в мировой практике серьезное внимание уделяется проблеме ухудшения состояния окружающей среды и ее влияния на технологию производства, качество и безопасность пищевой продукции.

Сложившаяся в этом направлении в России экологическая ситуация обусловлена в первую очередь промышленными загрязнениями окружающей среды, что является одной из причин различных пищевых заболеваний россиян. При этом данная проблема обусловлена реальными условиями производства пищевой продукции на предприятиях отрасли [1, 2].

Поэтому в настоящих условиях четко определена задача о производстве неприхотливых растительных культур с регулируемым химическим составом, в которых можно регулировать накопление, например, тяжелых примесей. При этом их можно культивировать без особых материальных затрат и агротехнических приемов. В определенной мере к ним можно отнести такие инулинсодержащие растения, как топинамбур и цикорий. В последние годы они стали предметом существенных научных экспериментов не только в России, но и в Европе, Китае, США и т. д. Возможности использования этих растений как многоцелевого сырья потребовали новых подходов в создании перспективных технологий их переработки [3].

Подобный подход позволяет конкретизировать выводы о том, что экологическая составляющая в производстве продуктов питания может играть существенную роль, например, уточнить агротехнические условия корректирования выпускаемой продукции. Поэтому в современном мире весьма актуальным являются не только требования к качеству и безопасности продуктов питания, но и к сырьевой базе для их производства. Причем, совсем по-новому звучат особенности выращивания растительного сырья с позиций накопления в нем нежелательных компонентов, с которыми затем следует бороться в технологическом процессе выработки пищевой продукции [4].

Сегодня в этом направлении уже работают ученые различных стран. Результатом подобных разработок являются предпосылки по использованию данного сырья для разработки фитопрепаратов, биологически активных веществ, функциональных продуктов питания, биокорректоров, биоэтанола и др. Особое внимание при этом уделяется функциональному и лечебному питанию, соответствующим технологиям его реализации с учетом персонализации здоровья человека [2, 5, 6].

Обращается также внимание на новые инновационные подходы в подготовке посевных площадей, использование эффективных

биопрепаратов, повышении устойчивости к болезням и вредителям растительного сырья и др.

Вместе с тем ограниченные возможности хранения клубней топинамбура препятствуют его широкому использованию в пищевой индустрии. Определенное влияние на использование подобного сырья оказывает недостаточно развитая инфраструктура для его возделывания и переработки в промышленных масштабах [7].

Следует отметить новые и эффективные разработки в области хранения растительного сырья, что также, в частности, касается топинамбура и цикория. Это обусловлено тем, что решается не только сохранность сырья, но и подбор более эффективных технологий его последующей переработки [8].

Можно также отметить то, что в настоящее время накоплен значительный производственный опыт в области переработки и хранения растительного сырья.

Важной особенностью данного подхода является то, что такое сырье является возобновляемым. Причем топинамбур не страдает серьезными заболеваниями и в отличие от цикория культивируется на различных почвах. Помимо этого, его возделывание не требует использования пестицидов и больших материальных затрат. Его можно выращивать в различных климатических зонах, он устойчив к засухе и болезням. Большое значение имеет также то, что топинамбур подходит для органического земледелия и растет в условиях недостатка воды [9].

В мировой практике площадь посевов топинамбура составляет 2,5 млн га. Средняя урожайность его оценивается в 50–60 тонн клубней с одного гектара. Во Франции, например, на посевные площади топинамбура приходится 250 тыс. гектар при урожайности 7,5 млн т. По статистическим данным США урожайность топинамбура в этой стране равняется 28 млн т, а в Канаде – 13 млн т. В настоящее время трудно отыскать европейскую страну, где бы ученые и агрономы не занимались выращиванием и переработкой топинамбура. Большие возможности и особенно перспективы в возделывании и переработке топинамбура на инулин имеет Россия. Вместе с этим площадь его выращивания сегодня освоена еще недостаточно и составляет около 3 тыс. га с разбросом по таким регионам, как Краснодарский и Ставропольский край, Чувашская Республика и др. Поэтому в России данная сельскохозяйственная культура до сих пор считается «нетрадиционной» [10].

При этом по сравнению с цикорием топинамбур имеет ряд преимуществ. В основном это касается сырьевых особенностей, их дальнейшего восполнения, урожайности, количества зеленой массы и ее питательной ценности.

Производством инулина из топинамбура и цикория занимаются такие компании как «Beneo-Orafti SA», «Cosucra Groupe Warcoing SA» (Бельгия) и «Sensus» (Нидерланды). Интересные разработки в этом направлении проводятся в Китае [11, 12].

В настоящее время в мировой практике вырабатывают инулин, имеющий высокие пребиотические свойства. Оценивая тенденции развития и перспективность производства инулина в России, а также с учетом достигнутых в этом направлении результатов можно отметить их реальность и перспективность дальнейшей его совершенствования. Такой подход тесно связан с необходимостью дальнейшей интенсификацией его основных технологических операций [13].

Исходным соединением для синтеза инулина является сахароза (рисунок 1). Этот дисахарид образуется в процессе фотосинтеза в листьях растения и далее транспортируется через флоэму к органам хранения, таким как корни или клубни.

На первом этапе (синтез 1-кестозы) под действием фермента сахароза-сахароза-фруктозилтрансферазы (1-SST) две молекулы сахарозы взаимодействуют между собой. В результате этой реакции одна молекула сахарозы расщепляется на глюкозу и фруктозу, а вторая остаётся целой. Затем фруктоза переносится на вторую молекулу сахарозы, формируя трисахарид 1-кестозу, который содержит одну молекулу глюкозы и две молекулы фруктозы.

Далее на втором этапе (полимеризация фруктозы) вступает в действие другой фермент – фруктан-фруктан-фруктозилтрансфераза (1-FFT). Этот фермент последовательно переносит остатки фруктозы от 1-кестозы или других фруктанов к сахарозе или уже существующему инулину. Каждый такой перенос способствует увеличению длины цепочки инулина на одно звено фруктозы. Повторяя этот процесс многократно, можно получить длинные цепи инулина, состоящие из десятков или даже сотен остатков фруктозы [14].

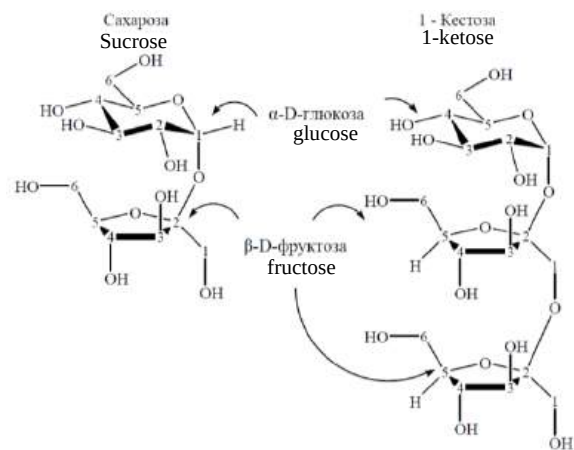


Рисунок 1. Начальная стадия биосинтеза инулина в клетках растений

Figure 1. The initial stage of inulin biosynthesis in plant cells

Концентрация сахарозы в клетках играет ключевую роль в скорости накопления инулина. Чем больше доступного субстрата (сахарозы), тем быстрее могут протекать процессы синтеза 1-кестозы и последующего наращивания цепочек инулина. Активности ферментов 1-SST и 1-FFT также критичны для эффективности этих реакций. Высокая активность этих ферментов способствует быстрому превращению сахарозы в инулин и увеличению его содержания в растительных тканях.

Таким образом, биосинтез инулина включает два основных этапа: образование 1-кестозы из сахарозы и последующая полимеризация фруктозных остатков. Концентрация сахарозы и активность ключевых ферментов определяют скорость и эффективность этого процесса, что напрямую влияет на накопление инулина в клетках растительной ткани [15].

В настоящее время в России зарождается промышленное производство инулина из топинамбура. Причем его в основном перерабатывают на сухой порошок и используют в виде БАД. Поэтому направление на создание промышленного производства инулина в России позволит обеспечить ее рынок высококачественной продукцией лечебного и профилактического назначения [16, 17].

Научные исследования и практический опыт показывают, что топинамбур является перспективным растением для развития не только сельского хозяйства, но и пищевой промышленности. При этом его разноплановое использование может способствовать как улучшению питания населения, так и развитию на его основе экологически чистых промышленных технологий [7].

Существует мировой тренд на увеличение производства продукции функционального и диетического назначения. Особо ощущается спрос на функциональные ингредиенты, включая инулин и олигофруктозу. Россия импортирует эти компоненты, хотя обладает как сырьевыми, так и технологическими возможностями для создания собственного производства, что особенно важно с позиций импортозамещения [18].

Реализация подобного потенциала требует современных инновационных разработок, адаптированных к биохимическим свойствам инулинсодержащего сырья и, при этом, имеющего возможность его эффективного использования. Представляется, что разработка новых видов продукции с учетом интегрирующих ингредиентов, будет способствовать их быстрому освоению на соответствующих рынках.

В последние десятилетия в производстве инулина были достигнуты и на современном уровне обоснованы технические подходы к его переработке. Не последнее значение при этом играет возобновляемость его сырьевой базы и внедрение на этой основе практически безотходных технологий (рисунок 2).

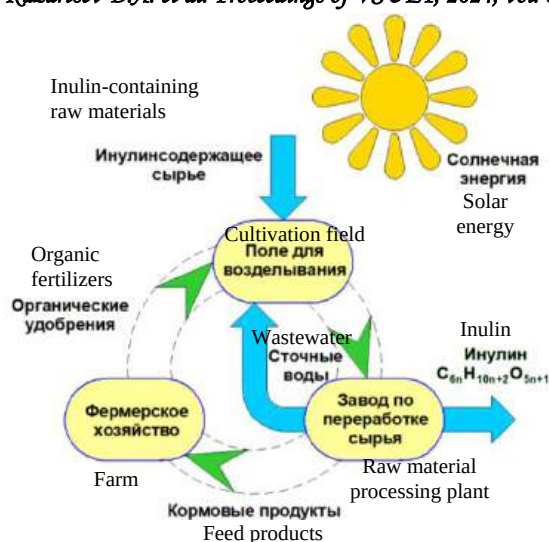


Рисунок 2. Биологически замкнутая система выращивания и переработки инулинсодержащего сырья  
Figure 2. Biologically closed system for growing and processing inulin-containing raw materials

Тем не менее, экологические вопросы остаются приоритетными для многих предприятий, перерабатывающих инулинсодержащее сырье. Это связано, прежде всего, с высоким потреблением воды в производственных процессах и растущими ценами на тепло- и электроэнергию для утилизации побочных продуктов. Применение менее энергозатратных технологий с более простой схемой требует создания дорогих очистных сооружений для биологической обработки сточных вод, содержащих повышенное количество органических веществ. Кроме того, использование упрощенных технологий приводит к большому количеству потерь сухих веществ в сточных водах [1].

При анализе завода, перерабатывающего инулинсодержащее сырье, можно выделить три основных подхода к его работе:

- 1) внедрение современной энергоемкой безотходной технологии с полной переработкой побочных продуктов;
- 2) применение менее энергозатратных технологий и строительство очистных сооружений;
- 3) работа завода по упрощенной технологии без очистных систем и уплата штрафов за сброс неочищенных сточных вод.

В современных условиях предприятия, перерабатывающие инулинсодержащее сырье, функционируют по всем трем направлениям, хотя их разделение является условным, т. к. очистные сооружения необходимы даже при энергоемких технологиях. В нынешних рыночных условиях на деятельность данных предприятий негативно влияют высокие банковские ставки, затрудняющие

инвестиции в модернизацию и внедрение безотходных технологий. Растущая доля стоимости энергетических ресурсов в себестоимости инулина вынуждает предприятия отказываться от эффективных, но дорогостоящих процессов полной утилизации побочных продуктов. Это создает необходимость искать более доступные и менее энергозатратные способы переработки инулинсодержащего сырья [19-20].

Организация промышленного производства инулина и его производных из топинамбура в России позволит расширить ассортимент продуктов на его основе. В первую очередь это касается продукции пищевого назначения пониженной калорийности для диетического и диабетического питания, а также оздоровительного и профилактического питания населения.

**Цель работы** – разработка рациональной технологии и ее аппаратного оформления по переработке топинамбура на инулинсодержащий порошок с оценкой его углеводного состава.

### Материалы и методы

Объектами исследования являются технология и ее аппаратное оформление для переработки топинамбура на инулинсодержащий продукт, а также оценка готовой продукции – инулинсодержащего порошка.

Исследования проводились с учетом требований международной организации по стандартизации ISO (ИСО). При этом оценку качества образцов инулинсодержащего порошка проводили по таким физико-химическим показателям как массовая доля в нем сухого вещества, протеина и золы, а также был проанализирован его углеводный состав.

Массовую долю сухого вещества в порошке инулина определяли на лабораторном рефрактометре марки «ТАГЛЕР ИРФ-Компакт». Содержание в нем золы находили методом сжигания образцов в муфельной печи при температуре 650 °С. Массовую долю протеина определяли методом Кьельдаля на приборе К-424 фирмы «BUCHI Labortechnik» (Германия).

Для уточнения углеводного состава образцов полученного инулинсодержащего порошка использовали жидкостной хроматограф с рефрактометрическим датчиком компании «Gilson».

### Результаты и обсуждение

На основе проведенных исследований в лабораториях «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» и «ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья», а также путем подбора оптимальных технологических режимов,

разработана и обоснована машинно-аппаратурная линия переработки клубней топинамбура на инулинсодержащий порошок, которая представлена на рисунке 3.

В соответствии с представленной на рисунке 3 схемой, поступающие в цех на переработку клубни топинамбура загружают в соответствующий бункер 1.

При значительной загрязненности его клубней, первым этапом их обработки является предварительное замачивание. Этот процесс реализуется в специальной ванне промыванием в холодной воде. С этой целью клубни топинамбура из бункера 1 транспортируются передаточным транспортером 2 к ванне 3 для их замачивания. Эта технологическая операция позволяет улучшить удаление загрязнений с клубней топинамбура, что значительно облегчает их последующую очистку. После замачивания клубни подвергаются двухстадийной мойке, которая осуществляется в чистой проточной воде. В процессе мойки используются две специализированные машины: барботажная 4 и щеточная 5. Барботажная мойка основана на принципе пузырьковой аэрации в моечной воде, что позволяет более эффективно удалить загрязнения с поверхности клубней без их повреждения. Для этого в моечной воде образуются пузырьки воздуха, которые поднимаются и обмывают клубни, тем самым способствуя отслоению грязи.

Следующий этап осуществляется в щеточной мойке, где клубни топинамбура обрабатываются и очищаются щетками. При этом они аккуратно и эффективно удаляют с поверхности клубней остаточные загрязнения. При этом важно избегать механических повреждений корнеплодов, так как поврежденные клубни станут причиной возрастания потерь инулина в случае механического повреждения их клеточной структуры. К тому же полученные повреждения клубней могут быть причиной повышенного содержания в них микроорганизмов и различного рода заболеваний, например, гниения, что снизит их качество и срок хранения.

Помимо этого, важно учитывать то, что чистота клубней не только влияет на их внешний вид, но и на безопасность последующего потребления их готовой продукции. Такая возможность обусловлена тем, что загрязненные корнеплоды могут содержать патогенные микроорганизмы и токсины, которые, в свою

очередь, могут вызвать различные пищевые отравления. Поэтому тщательная мойка и очистка клубней – это не только вопрос качества, но и здоровья потребителей.

Таким образом, процесс подготовки клубней к дальнейшей переработке включает в себя несколько этапов, каждый из которых играет важную роль в обеспечении чистоты и безопасности конечного продукта.

По завершению замачивания и очистки клубней топинамбура промывную воду направляют в сток или после некоторой обработки используют для полива соответствующего сырья (рисунк 2).

После завершения вторичной мойки клубней топинамбура, проводится их тщательная инспекция, которая имеет решающее значение для обеспечения качества и безопасности готовой продукции. На этом этапе клубни помещают на специальный инспекционный транспортер 6, который позволяет работникам внимательно осмотреть каждый экземпляр и оценить его подготовку к последующей технологической операции. Во время такой инспекции особое внимание уделяется отбору клубней не соответствующих стандартам. Клубни, пораженные гнилью, болезнями или вредителями, отбраковываются в отдельный бункер 7, предназначенный для некондиционного сырья. Это необходимо для предотвращения распространения различных заболеваний и обеспечения сохранности и тургора оставшихся клубней. Кроме того, работники проверяют форму и размер клубней. Экземпляры клубней топинамбура, не соответствующие требованиям стандарта, также отбраковываются и удаляются из производства. Это важно, т. к. конечный продукт должен соответствовать требованиям потребителей и стандартам рынка. Также во время инспекции осуществляется контроль за наличием посторонних примесей, таких как земля, камни или остатки растений, которые могут повредить качество клубней. Все отобранные некондиционные клубни и примеси аккуратно сортируются и утилизируются в соответствии с установленными нормами. Таким образом, инспекция после вторичной мойки является важным этапом в процессе переработки топинамбура, который гарантирует, что только лучшие клубни поступят в производство, удовлетворяя требования потребителей и обеспечивая безопасность продуктов питания.

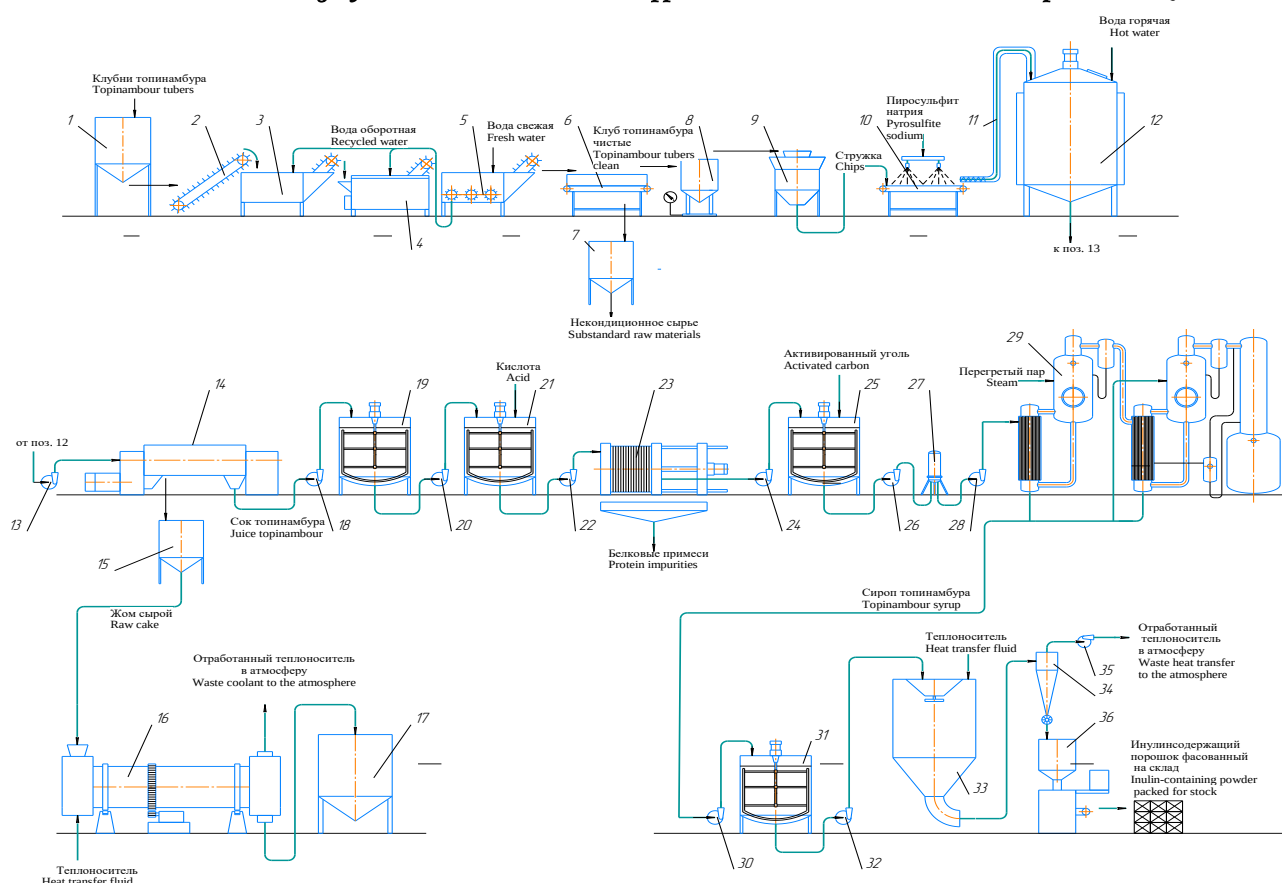


Рисунок 3. Машинно-аппаратурное оформление линии переработки топинамбура на инулинсодержащий порошок: 1 – бункер для клубней топинамбура; 2 – передаточный транспортер; 3 – ванна отмочная; 4 – машина барботажная; 5 – машина щеточная; 6 – инспекционный транспортер; 7 – бункер для некондиционного сырья; 8 – весоизмерительное устройство; 9 – резательная машина; 10 – конвейер для обработки свежей стружки раствором пиросульфита натрия; 11 – гидротранспортер; 12 – экстрактор; 13, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32 – насос; 14 – шнековая центрифуга; 15 – бункер для жома; 16 – барабанная сушилка; 17 – бункер сухого жома; 19 – емкость накопительная для сока с мешалкой; 21 – емкость для коагуляции; 23 – фильтр-пресс; 25 – контактный сборник для адсорбционной очистки сока активным углем; 27 – патронный фильтр; 29 – вакуум-выпарная установка; 31 – емкость накопительная для сиропа с мешалкой; 33 – распылительная сушилка; 34 – циклон; 35 – вентилятор; 36 – фасовочная машина для инулинсодержащего порошка

Figure 3. Machine and hardware design of the Jerusalem artichoke processing line for inulin-containing powder: 1 – hopper for jerusalem artichoke tubers; 2 – transfer conveyor; 3 – soak tub; 4 – bubbling machine; 5 – brush machine; 6 – inspection conveyor; 7 – hopper for substandard raw materials; 8 – weighing device; 9 – cutting machine; 10 – conveyor for processing fresh chips with sodium pyrosulfite solution; 11 – hydraulic conveyor; 12 – extractor; 13, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32 – pump; 14 – screw centrifuge; 15 – hopper for pulp; 16 – drum dryer; 17 – dry pulp hopper; 19 – storage tank for juice with a stirrer; 21 – coagulation tank; 23 – filter press; 25 – contact collector for adsorption purification of juice with activated carbon; 27 – cartridge filter; 29 – vacuum evaporation unit; 31 – storage container for syrup with a stirrer; 33 – spray dryer; 34 – cyclone; 35 – fan; 36 – filling machine for inulin-containing powder

Подготовленные после очистки клубни топинамбура взвешивают и затем измельчают в специальном устройстве 9 в стружку, которая поступает на конвейер 10 для дальнейшей ее обработки. Для предотвращения потемнения стружки, а также лучшей сохранности ее внешнего вида и увеличения сроков хранения, ее обрабатывают раствором пиросульфита натрия. После этого стружка топинамбура направляется на экстракцию из нее инулина. Этот процесс реализуется в экстракторе 12 при температуре 80–85 °С в течение 45–60 мин и гидромодуле 1: 1,5,

для чего в экстрактор дополнительно подается горячая вода. Для снижения потерь инулина в процессе экстракции рекомендуется использовать сухую стружку топинамбура.

Для этого после изрезания клубней топинамбура в стружку ее направляют в барабанную сушилку 16, где высушивают и затем направляют в бункер сухой стружки 17. В случае использования сухой стружку помещают в емкость для замачивания, которую наполняют горячей водой, и далее уже влажную стружку отправляют на экстракцию в экстрактор.

По окончании процесса экстракции экстракт топинамбура, содержащий не менее 12% сухих веществ, насосом 13 перекачивают в шнековую центрифугу 14, где под действием центробежной силы происходит разделение его на твердую и жидкую фракции. Твердую фракцию (осадок), полученную в процессе центрифугирования, резервируют в бункере для жома 15 и далее ее направляют на барабанную сушилку 16 для получения сухого жома. Высушенный до требуемой влажности жом, хранится в бункере сухого жома 17.

Жидкая фракция (экстракт топинамбура без стружки) направляется в накопительную емкость для сока с мешалками 19, откуда насосом 20 она перекачивается в емкость для коагуляции 21. В нее также подают кислоту для коагуляции коллоидов и осветления сока.

После коагуляции экстракт топинамбура с коагулированным белком насосом 22 перекачивают через фильтр-пресс 23, где проводят первую ступень фильтрования для удаления скоагулированного белка.

После отделения белка экстракт поступает в контактный сборник 25 для адсорбционной очистки активным углем. Затем насосом 26 он перекачивается через патронный фильтр 27 для отделения из него мелких взвешенных частиц активированного угля. После фильтрования очищенный от частичек активного угля экстракт

топинамбура, направляется в емкость для хранения и затем подается для сгущения на выпарную станцию 29, где доводится до содержания в нем 12–25% сухих веществ.

После сгущения выпариванием экстракт топинамбура (сироп) подвергается сушке в распылительной сушилке 33 при температуре сушильного агента не выше 160–180 °С, куда его подают насосом 32. Выделение из воздушного потока частиц уже сухого инулина, осуществляется с использованием циклона 34.

После сушки сухой инулинсодержащий порошок направляют в фасовочную машину 36, откуда, уже в упакованном виде, он направляется на склад готовой продукции. Отработанный и очищенный от частиц инулина воздух при помощи вентилятора 35 отводят в атмосферу.

Для проведения анализов на содержание в инулинсодержащем порошке углеводов были отобраны соответствующие пробы его образцов.

Образцы инулинсодержащего порошка, высушенного при различных температурах, по предлагаемой технологии имели однородный состав и окраску от светло-серого до бежевого цвета. Все образцы отобранных порошков содержали в своем составе  $84,8 \pm 0,5\%$  инулина, около 12% дисахаридов и примерно около 3% фруктозы.

В таблице ниже представлены данные исследований отобранных образцов инулинсодержащего порошка по их углеводному составу.

Таблица 1.

Сопоставление инулинсодержащих порошков по их углеводному составу

Table 1.

Comparison of inulin-containing powders by their carbohydrate composition

| Температура сушки, °С<br>Drying temperature, °C | СВ, %<br>DM, % | Углеводный состав по ВЭЖХ на 100% углеводов<br>Carbohydrate composition by HPLC for 100% carbohydrates |                             |                    |                      | Протеин, %<br>Protein, % | Зола, %<br>Ash, % |
|-------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|
|                                                 |                | инулин<br>inulin                                                                                       | дисахариды<br>disaccharides | глюкоза<br>glucose | фруктоза<br>fructose |                          |                   |
| 140                                             | 96,6           | 84,8                                                                                                   | 12,3                        | –                  | 2,8                  | 10,5                     | 5,7               |
| 160                                             | 97,6           | 85,3                                                                                                   | 11,8                        | –                  | 2,7                  |                          |                   |
| 180                                             | 97,8           | 84,3                                                                                                   | 12,6                        | –                  | 3,0                  |                          |                   |
| 200                                             | 97,8           | 85,0                                                                                                   | 12,0                        | –                  | 2,9                  |                          |                   |

### Закключение

Углеводный состав отобранных для анализа порошков инулина практически не изменялся при различных условиях распылительной сушки, что свидетельствуют о стабильности метода и его способности сохранять важные свойства исходного сырья.

Сохранение углеводного состава порошков инулина указывает на то, что основные компоненты, такие как фруктаны и глюкоза, остаются в том же соотношении, что и в исходном сиропе. Это крайне важно для сохранения функциональных свойств инулина, используемых в пищевой промышленности и медицине.

Высокий выход инулина свидетельствует об экономической эффективности процесса распылительной сушки. Минимальные потери вещества в ходе сушки обеспечивают рентабельность производства и снижают затраты на сырье.

Полученный порошок характеризуется низким содержанием воды, что улучшает его стабильность при хранении и снижает риск микробиологического заражения. Низкая влажность также упрощает упаковку и транспортировку продукта.

Улучшенная структура поверхности порошка включает в себя более равномерное распределение частиц, меньшую агломерацию

и лучшие реологические характеристики. Это положительно сказывается на его использовании в различных продуктах, обеспечивая лучшее смешивание и растворимость.

Таким образом, разработана и проверена в промышленных условиях технология и

ее аппаратное оформление для переработки топинамбура на инулинсодержащий порошок с содержанием в нем около 85% инулина. Показано, что предлагаемая технология позволяет упростить технологию, снизить энергозатраты и обеспечить высокое качество получаемого инулина.

### Литература

- 1 Бызов В.А. Системный анализ состояния и перспективы развития производства инулина (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 6. С. 757-776. doi:10.30766/2072-9081.2022.23.6.757-776
- 2 Манохина А.А., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А. и др. Конкурентоспособные технологии производства функциональных продуктов из топинамбура. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех». 2020. 84 с
- 3 Redondo-Cuenca A., Herrera-Vázquez S. E., Condezo-Hoyos L., Gómez-Ordóñez E et al. Inulin extraction from common inulin-containing plant sources // *Industrial Crops and Products*. 2021. V. 170. P. 113726.
- 4 Пучкова Т.С., Бызов В.А., Пихало Д.М., Карасева О.М. Технологическая оценка и требования к качественным показателям топинамбура и цикория для переработки на инулин и его производные // *Пищевая промышленность*. 2021. № 10. С. 86-91. doi:10.52653/PPI.2021.10.10.012
- 5 Пучкова Т.С., Бызов В.А., Пихало Д.М., Карасева О.М. Технология инулина и его производных для получения функциональных ингредиентов диетического и лечебно-профилактического назначения // *Все о мясе*. 2020. № 5S. С. 273-280. doi:10.21323/2071-2499-2020-5S-273-280
- 6 Rubel I.A., Iraporda C., Manrique G.D., Genovese D.B. et al. Inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus* l.): from its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. *Biology* // *Bioactive carbohydrates and dietary fibre*. 2021. V. 26. P. 100281. doi:10.1016/j.bcdf.2021.100281
- 7 Рахманова А., Таганова Б. Перспективы выращивания топинамбура в различных климатических зонах // *Всемирный ученый*. 2024. Т. 1. № 32. С. 83-89.
- 8 Mu Y., Gao W., Lv S., Li F. et al. The antioxidant capacity and antioxidant system of jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in relation to inulin during storage at different low temperatures // *Industrial Crops and Products*. 2021. V. 161. P. 113411. doi:10.1016/j.indcrop.2021.113411
- 9 Захарова И.И. Топинамбур – ценная культура для функционального питания // *Агропродовольственная экономика*. 2022. № 1. С. 7-13. doi:10.54092/24122521\_2022\_1\_7
- 10 Лукина Ф. А., Кривошапкин К. К. Перспективы выращивания топинамбура как кормовой культуры в Якутии // *Вестник АГАТУ*. 2021. № 4 (4). С. 21.
- 11 Ражина Е.В., Смирнова Е.С., Горелик О.В., Степанов А.В. и др. Анализ функционально-технологического потенциала использования топинамбура при производстве продуктов питания. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2023. Т. 85(1). С. 143-148. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-143-148
- 12 Eryomenko D.O., Osmanova Yu.V. The influence of technological parameters of drying on the content of inulin in chicory and jerusalem artichoke powder // *Modern science and innovation*. 2021. V. 1(33). P. 71-77. doi: 10.37493/2307-910X.2021.1.10
- 13 Петров С.М., Подгорнова Н.М., Григорьев Д.А. Инулин как перспективный натуральный пребиотик многоцелевого использования // *Пищевая промышленность*. 2022. № 7. С. 66-74. doi: 10.52653/PPI.2022.7.7.012
- 14 Сербяева Э.Р., Якупова А.Б., Магасумова Ю.Р., Фархутдинова В.А. и др. Инулин: природные источники, особенности метаболизма в растениях и практическое применение // *Биомика*. 2020. Т. 12. № 1. С. 57-79. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5
- 15 Кутейникова Е.С., Дьякова Н.А., Банова М.В. Инулин: источники и методы получения (обзор) // *Биофармацевтический журнал*. 2024. Т. 16. № 1. С. 3-11. doi:10.30906/2073-8099-2024-16-1-3-11
- 16 Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Бызов В.А. и др. Интродукция топинамбура в Липецкой области // *Научные труды по агрономии*. 2024. № 2. С. 24-32. doi:10.35244/2658-7963-2024-9-2-24-32
- 17 Думанишева З.С., Азаматова М. В. Оценка потребительских свойств порошка из клубней топинамбура // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова*. 2021. № 3 (33). С. 60-64.
- 18 Быкова С.Т., Калинина Т.Г. Инулин и олигофруктоза - перспективные ингредиенты для обогащения функциональных продуктов детского питания // *Пищевая промышленность*. 2022. № 8. С. 8-11. doi: 10.52653/PPI.2022.8.8.001
- 19 Вологитров А.К., Джабоева А.С., Васюкова А.Т., Хатко З.Н. и др. Разработка технологии комплексной переработки топинамбура // *Новые технологии*. 2023. Т. 19. № 4. С. 56-62. doi:10.47370/2072-0920-2023-19-4-56-62
- 20 Barkhatova T. V. Nazarenko M. N., Kozhukhova M. A., Khripko I. Obtaining and identification of inulin from jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers // *Foods and Raw Materials*. 2015. V. 3. № 2. P. 13-22.

### References

- 1 Byzov V.A. Systems analysis of the state and prospects for the development of inulin production (review) // *Agrarian science of the Euro-North-East*. 2022. no. 6. pp. 757-776. doi:10.30766/2072-9081.2022.23.6.757-776 (in Russian).
- 2 Manokhina A.A., Starovoytov V.I., Starovoytova O.A. et al. Competitive technologies for the production of functional products from Jerusalem artichoke: an analytical review. Moscow: FGBNU "Rosinformagrotech". 2020. 84 p. (in Russian).
- 3 Redondo-Cuenca A., Herrera-Vázquez S. E., Condezo-Hoyos L., Gómez-Ordóñez E. et al. Inulin extraction from common inulin-containing plant sources // *Industrial Crops and Products*. 2021. Vol. 170. pp. 113726.

- 4 Puchkova T.S., Byzov V.A., Pikhalo D.M., Karaseva O.M. Technological assessment and requirements for quality indicators of Jerusalem artichoke and chicory for processing into inulin and its derivatives // Food Industry. 2021. no. 10. pp. 86-91. doi: 10.52653/PPI.2021.10.10.012 (in Russian).
- 5 Puchkova T.S., Byzov V.A., Pikhalo D.M., Karaseva O.M. Technology of inulin and its derivatives for obtaining functional ingredients for dietary and medical-preventive purpose // Vse o myase. 2020. no. 5S. pp. 273-280. doi: 10.21323/2071-2499-2020-5S-273-280 (in Russian).
- 6 Rubel I.A., Iraporda C., Manrique G.D., Genovese D.B. et al. Inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus* l.): from its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. Biology // Bioactive carbohydrates and dietary fibre. 2021. Vol. 26. pp. 100281. doi:10.1016/j.bcdf.2021.100281
- 7 Rakhmanova A., Taganova B. Prospects of jerusalem artichoke cultivation in various climatic zones // World Scientist. 2024. Vol. 1. no. 32. pp. 83-89. (in Russian).
- 8 Mu Y., Gao W., Lv S., Li F., Lu Y. et al. The antioxidant capacity and antioxidant system of jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in relation to inulin during storage at different low temperatures // Industrial Crops and Products. 2021. Vol. 161. pp. 113411. doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113411
- 9 Zakharova I.I. Jerusalem artichoke is a valuable crop for functional nutrition // Agro production and economics journal. 2022. no. 1. pp. 7-13. doi: 10.54092/24122521\_2022\_1\_7 (in Russian).
- 10 Lukina F. A., Krivoschapkin K. K. Prospects of jerusalem artichoke cultivation as a fodder crop in Yakutia // Vestnik of ASAU. 2021. no. 4 (4). p. 21. (in Russian).
- 11 Razhina E.V., Smirnova E.S., Gorelik O.V., Stepanov A.V. et al. Analysis of the functional and technological potential of the use of Jerusalem artichoke in food production: an overview of the subject field. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2023. Vol. 85(1). pp. 143-148. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-143-148 (in Russian).
- 12 Eryomenko D.O., Osmanova Yu.V. The influence of technological parameters of drying on the content of inulin in chicory and jerusalem artichoke powder // Modern science and innovation. 2021. Vol. 1(33). pp. 71-77. doi: 10.37493/2307-910X.2021.1.10
- 13 Petrov S.M., Podgornova N.M., Grigor'ev D.A. Inulin as a promising natural prebiotic multipurpose use // Food Industry. 2022. no. 7. pp. 66-74. doi: 10.52653/PPI.2022.7.7.012 (in Russian).
- 14 Serbaeva E.R., Yakupova A.B., Magasumova Yu.R., Farkhutdinova V.A. et al. Inulin: natural sources, features of metabolism in plants and practical application // Biomcs. 2020. Vol. 12. no. 1. pp. 57-79. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5 (in Russian).
- 15 Kuteinikova E.S., Dyakova N.A., Banova M.V. Inulin: sources and methods of production (review) // Biopharmaceutical journal. 2024. Vol. 16. no. 1. pp. 3-11. doi: 10.30906/2073-8099-2024-16-1-3-11 (in Russian).
- 16 Starovoytov V.I., Starovoytova O.A., Byzov V.A. et al. Introduction of Jerusalem artichoke in the Lipetsk region // Scientific works on agronomy. 2024. no. 2. pp. 24-32. doi: 10.35244/2658-7963-2024-9-2-24-32 (in Russian).
- 17 Dumanisheva Z.S., Azamatova M.V. Evaluation of consumer properties of Jerusalem artichoke tuber powder // Bulletin of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov. 2021. no. 3 (33). pp. 60-64. (in Russian).
- 18 Bykova S.T., Kalinina T.G. Inulin and oligofructose are promising ingredients for enriching functional baby food products // Food Industry. 2022. no. 8. pp. 8-11. doi: 10.52653/PPI.2022.8.8.001 (in Russian).
- 19 Vologirov A.K., Dzhaboeva A.S., Vasyukova A.T., Khatko Z.N. et al. Development of technology for complex processing of Jerusalem artichoke // New technologies. 2023. Vol. 19. no. 4. pp. 56-62. doi: 10.47370/2072-0920-2023-19-4-56-62 (in Russian).
- 20 Barkhatova T. V. Nazarenko M. N., Kozhukhova M. A., Khripko I.A. Obtaining and identification of inulin from jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers // Foods and Raw Materials. 2015. Vol. 3. no. 2. pp. 13-22.

#### Сведения об авторах

**Дмитрий А. Казарцев** д.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологии виноделия, броидильных производств и химии им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kda\_79@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

**Анатолий А. Славянский** д.т.н., профессор, заведующий кафедрой инновационных технологий продуктов из растительного сырья, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, a.slavyanskiy@mgut.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

**Андрей И. Ключников** д.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, броидильных производств и химии им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kaivanov@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-8161-0040>

#### Information about authors

**Dmitriy A. Kazartsev** Doc. Sci. (Engin.), associate professor, head of the department of winemaking technology, fermentation production and chemistry named after G.G. Agabalyantsa, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, kda\_79@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

**Anatoliy A. Slavyanskiy** Doc. Sci. (Engin.), professor, head of the department of winemaking technology, fermentation production and chemistry named after G.G. Agabalyants, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, a.slavyanskiy@mgut.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

**Andrey I. Klyuchnikov** Doc. Sci. (Engin.), associate professor, winemaking technology, fermentation production and chemistry named after g.g. agabalyantsa department, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, kaivanov@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-8161-0040>

**Наталья Н. Лебедева** к.т.н., доцент, кафедра инновационных технологий продуктов из растительного сырья, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, n.lebedeva@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4936-7498>

**Николай Д. Лукин** д.т.н., профессор, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», ул. Некрасова, 11, дп. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., 140051, Россия, vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2142-1897>

**Татьяна С. Пучкова** к.т.н., ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», ул. Некрасова, 11, дп. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., 140051, Россия, puchkovats@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7657-6730>

**Natalya N. Lebedeva** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, innovative technologies of plant-based products department, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, n.lebedeva@mgutm.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4936-7498>

**Nikolay D. Lukin** Doc. Sci. (Engin.), professor, deputy director for research, All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «A.G. Lorkh Federal Research Center of Potatoes», Nekrasov St., 11, Korenevo microdistrict, Lyubertsy urban district, Moscow region, Russia, vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2142-1897>

**Tatyana S. Puchkova** Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «A.G. Lorkh Federal Research Center of Potatoes», Nekrasov St., 11, Korenevo microdistrict, Lyubertsy urban district, Moscow region, Russia, puchkovats@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7657-6730>

#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 25/10/2024 | После редакции 14/11/2024      | Принята в печать 29/11/2024 |
| Received 25/10/2024  | Accepted in revised 14/11/2024 | Accepted 29/11/2024         |

## Получение лицевого керамического кирпича с улучшенными свойствами

|                        |   |                                                                      |                                                                                                         |
|------------------------|---|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ирина В. Кузнецова     | 1 | <a href="mailto:kuznetsovaiv@mail.ru">kuznetsovaiv@mail.ru</a>       |  0000-0001-6666-6292 |
| Анастасия В. Дошина    | 2 | <a href="mailto:nastyadoshina@ya.ru">nastyadoshina@ya.ru</a>         |                                                                                                         |
| Светлана Е. Плотникова | 1 | <a href="mailto:burkovasweta@ya.ru">burkovasweta@ya.ru</a>           |  0000-0002-6331-554x |
| Елена М. Горбунова     | 1 | <a href="mailto:lobanova8686@gmail.com">lobanova8686@gmail.com</a>   |  0000-0002-3550-0115 |
| Сабухи И. Нифталиев    | 1 | <a href="mailto:niftaliev@mail.com">niftaliev@mail.com</a>           |  0000-0001-7887-3061 |
| Владимир С. Сертаков   | 1 | <a href="mailto:vova.petrudin2017@ya.ru">vova.petrudin2017@ya.ru</a> |  0009-0000-9359-9339 |

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

2 ООО Тербунский гончар, 399540, Липецкая область, с. Тербунь, ул. Дорожная 5б

**Аннотация.** Распространенной проблемой внешнего вида кирпича выступает высолообразование – белый или зеленоватый налет на кирпичных строениях. При этом не только портится внешний вид, но и происходит ускоренное разрушение кладки, дефекты в виде сколов, отстрелов, снижение морозостойкости и ухудшение марки кирпича по прочности. Высолы образуются при испарении капиллярной влаги, которая может находиться как в самом изделии, так и в растворе для кладки, и последующей кристаллизации солей на поверхности кирпича. Для предотвращения высолообразования предлагается обработать изделие после обжига в туннельной печи 40–45 % водным раствором метилсиликоната калия (жидкость кремнийорганическая гидрофобизирующая). Экспериментально подобрана концентрация раствора метилсиликоната калия. Оптимальное соотношение водного раствора метилсиликоната калия к воде составило 2:1000. Представлен анализ внешнего вида лицевых поверхностей после обработки анализируемыми растворами на 1-й, 3-й и 7-й день после обработки. Внешний вид изделия после обработки остается без изменений, сохраняется паропроницаемость, не изменяется газонепроницаемость материала. Водопоглощение изделий определяли при атмосферном давлении в воде с температурой (20±5 °C). Обработка изделий водным раствором метилсиликоната калия приводит к незначительному повышению показателей водопоглощения, что сохранит качество и прочность кирпича в местностях с суровыми климатическими условиями. Испытания на морозостойкость проводили при объемном замораживании. Установлено положительное влияние обработки гидрофобизирующим раствором на морозостойкость кирпича. Результаты испытаний на прочность и изгиб подтвердили эффективность использования раствора метилсиликоната калия. Испытуемым образцам присвоена марка прочности М 250.

**Ключевые слова:** лицевой кирпич, высолы, метилсиликонат калия, гидрофобизатор, морозостойкость, водопоглощение, прочность на изгиб и сжатие.

## Obtaining a ceramic face brick with improved properties

|                        |   |                                                                      |                                                                                                           |
|------------------------|---|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Irina V. Kuznetsova    | 1 | <a href="mailto:kuznetsovaiv@mail.ru">kuznetsovaiv@mail.ru</a>       |  0000-0001-6666-6292 |
| Anastasiya V. Doshina  | 2 | <a href="mailto:nastyadoshina@ya.ru">nastyadoshina@ya.ru</a>         |                                                                                                           |
| Svetlana E. Plotnikova | 1 | <a href="mailto:burkovasweta@ya.ru">burkovasweta@ya.ru</a>           |  0000-0002-6331-554x |
| Elena M. Gorbunova     | 1 | <a href="mailto:lobanova8686@gmail.com">lobanova8686@gmail.com</a>   |  0000-0002-3550-0115 |
| Sabukhi I. Niftaliev   | 1 | <a href="mailto:niftaliev@mail.com">niftaliev@mail.com</a>           |  0000-0001-7887-3061 |
| Vladimir S. Sertakov   | 1 | <a href="mailto:vova.petrudin2017@ya.ru">vova.petrudin2017@ya.ru</a> |  0009-0000-9359-9339 |

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

2 Terbunski gonchar, v. Terbuny, 5b Dorozhnaya, 399540, Russia

**Abstract.** A common problem with the appearance of bricks is efflorescence, a white or greenish coating on brick structures. This not only spoils the appearance, but also accelerates the destruction of the masonry, causes defects in the form of chips, shoots, a decrease in frost resistance and deterioration of the brick grade in strength. Efflorescence is formed by the evaporation of capillary moisture, which can be found both in the product itself and in the masonry mortar, and the subsequent crystallization of salts on the surface of the brick. To prevent efflorescence, it is proposed to treat the product after firing in a tunnel kiln with a 40–45% aqueous solution of potassium methylsiliconate (organosilicon water-repellent liquid). The concentration of potassium methylsiliconate solution was experimentally selected. The optimal ratio of an aqueous solution of potassium methylsiliconate to water was 2:1000. An analysis of the appearance of the front surfaces after treatment with the analyzed solutions on the 1st, 3rd and 7th day after treatment is presented. The appearance of the product after treatment remains unchanged, vapor permeability is preserved, and gas impermeability of the material does not change. Water absorption of the products was determined at atmospheric pressure in water with a temperature of (20±5 °C). Treatment of products with an aqueous solution of potassium methylsiliconate leads to a slight increase in water absorption rates, which will preserve the quality and strength of the brick in areas with severe climatic conditions. Frost resistance tests were carried out with volumetric freezing. A positive effect of treatment with a water-repellent solution on the frost resistance of the brick was established. The results of strength and bending tests confirmed the effectiveness of using a potassium methylsiliconate solution. The test samples were assigned strength grade M 250.

**Keywords:** facing brick, efflorescence, potassium methylsiliconate, water repellent, frost resistance, water absorption Bending strength limit, compressive strength.

Для цитирования

Кузнецова И.В., Дошина А.В., Плотникова С.Е., Горбунова Е.М., Нифталиев С.И., Сертаков В.С. Получение лицевого керамического кирпича с улучшенными свойствами // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 201–206. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-201-206

For citation

Kuznetsova I.V., Doshina A.V., Plotnikova S.E., Gorbunova E.M., Niftaliev S.I., Sertakov V.S. Obtaining a ceramic face brick with improved properties. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 201–206. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-201-206

## Введение

В наше время преобладает высокий спрос на облицовочный керамический кирпич. Сырьем для производства облицовочного кирпича являются глины с повышенной тугоплавкостью, физико-химические свойства которых необходимо контролировать в лаборатории [1].

Лицевой кирпич в ровной, однотонной кладке смотрится солидно и качественно. Но для этого должно быть обеспечено высокое качество изготовления кирпича и произведена профессиональная кладка. Распространенной проблемой внешнего вида облицовочного кирпича выступает высолообразование – белый или зеленоватый налет на кирпичных строениях [2]. Мало того, что портится внешний вид, высолы влекут за собой ряд других проблем – ускоренное разрушение, дефекты в виде отколов, отстрелов, снижение морозостойкости и марки кирпича по прочности.

Всевозможные соли присутствуют во всех строительных материалах, особенно много в цементных растворах, где они результат химических реакций. Причина же их выхода на поверхность фасада всегда одна – это движение воды под действием капиллярных сил. При испарении капиллярной влаги, которая может находиться как в самом изделии, так и в растворе для кладки, появляется солевой налет на лицевой поверхности кирпича (рисунок 1).

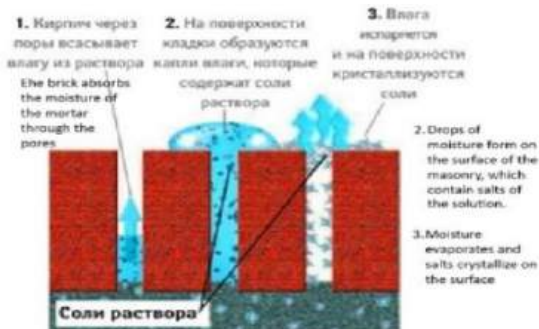


Рисунок 1. Движение воды в кирпичной кладке под действием капиллярных сил

Figure 1. Water movement in masonry under the action of capillary forces

Пористость стенового материала – это необходимое условие теплоизоляции и нормального парообмена здания. Двигаясь в толще материала, вода транспортирует растворенные в ней соли, а, дойдя до поверхности, испаряется, а соли – остаются. Взаимодействуя с атмосферой, они переходят в нерастворимую или плохо растворимую кристаллическую форму и образуют пятна и разводы на стенах. Высолообразование усиливается под действием внутренних и внешних

факторов. Внешние возникают при нарушении технологии кладки, использовании некачественных растворов, воды из скважин, проведение строительства в зимнее время [2-3]. Внутренние пути возникновения высолов – это некачественное сырье и нарушение технологии на производстве. По цвету высолов можно сделать вывод о преобладании соли. Если налет белый, это свидетельствует о преобладании солей бария, если зеленый – солей ванадия.

Для устранения как внешних, так и внутренних факторов высолообразования на лицевом керамическом кирпиче были разработаны различные способы, состоящие во введении добавок для связывания солей в процессе формования [3, 4] или в процессе обжига [5]. Эти способы являются дорогостоящими, поскольку требуют ультратонкий помол добавок и усложнение технологии для гомогенизации массы.

Достаточно эффективным способом по устранению высолов является нанесение защитных покрытий на свежесформованные изделия [6], например, раствора борной кислоты и кальцинированной соды [7], или раствора ортофосфорной кислоты с добавлением водорастворимых эфиров целлюлозы и глицерина [8]. Нанесение гидрофобизаторов на керамическое изделие после обжига несет в себе не только предотвращение высолов и разрушения, а также обеспечивает эффект несмачивания водой. Изделие сохраняет паропроницаемость; увеличивается морозостойкость; снижается поражение изделия в кладке от грибка; не изменяется газонепроницаемость материала.

**Цель работы** – подбор гидрофобизатора, препятствующего высолообразованию, нанесение его на лицевой кирпич после обжига, физико-механические испытания.

## Материалы и методы

Предлагается в качестве защитного покрытия использовать 40–45% водный раствор метилсиликоната калия – жидкость кремнийорганическую гидрофобизирующую (таблица 1).

Особенности данного гидрофобизатора: не изменяет внешний вид материала, придает материалу повышенную морозостойкость, препятствует загрязнению поверхности.

Рассматриваемый раствор наносили на готовую продукцию – керамический кирпич марок F75 и F100 методом напыления при помощи форсунок после обжига в туннельной печи перед упаковкой. Маркировка кирпича указывает на морозостойкость – количество циклов замораживания-размораживания без разрушения кирпича.

Физико-химические характеристики водного раствора метилсиликоната калия представлены в таблице 1.

Физико-механические испытания проводились согласно рекомендациям ГОСТ 530–2012 [9], ГОСТ 7025 [10], ГОСТ 8462–85 [11]. Обработанные кирпичи испытывали на водопоглощение, морозостойкость, прочность при изгибе и сжатии.

Для определения соотношения воды и раствора гидрофобизатора и оценки его влияние на внешний вид керамического изделия, его физико-механические характеристики готовили растворы с тремя различными соотношениями: 1 л анализируемого раствора на 1000 л воды (1:1000), 2 л на 1000 л (2:1000), 3 л на 1000 л (3:1000).

Таблица 1.

Физико-химические характеристики водного раствора метилсиликоната калия

Table 1.

Physicochemical characteristics of an aqueous solution of potassium methylsiliconate

| Показатель   Indicator                                                            | Норма                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Внешний вид   Appearance                                                          | Жидкость от бесцветного до светло-желтого цвета, допускается опалесценция<br>Colorless to light yellow liquid, opalescence allowed |
| Плотность при температуре 20 °С, г/см³<br>Density at temperature of 20 °C, g/cm³  | 1,200–1,225                                                                                                                        |
| Щелочность в расчете на КОН, %<br>Alkalinity based on KOH, %                      | 13–16                                                                                                                              |
| Массовая доля нелетучих веществ, %<br>Mass fraction of non-volatile substances, % | 28,5–32,5                                                                                                                          |
| Гидрофобизирующая способность   Water repelling ability                           | Выдерживает испытание   Withstands the test                                                                                        |

Каждым из растворов обрабатывали поверхность 264 изделий (поддон кирпича). После чего анализировали внешний вид лицевых поверхностей на 1-й, 3-й и 7-й день после обработки. Поддоны обработанных и необработанных изделий поместили в условия дождливой, ветреной погоды.

Результаты и обсуждения

Результаты физико-механических испытаний приведены в таблице 2.

Кирпич, обработанный раствором с соотношением 1:1000, подвержен высолообразованию. Для кирпичных изделий, обработанных растворами, содержащими 2 л и 3 л раствора гидрофобизатора на 1000 л воды, высолообразование не выявлено. С экономической точки зрения целесообразно выбрать соотношение 2 л водного раствора метилсиликоната калия на 1000 л воды. Установлено, что обработанное керамическое изделие после полного высыхания не изменяет внешнего вида и средней массы.

Таблица 2.

Анализ внешнего вида лицевых поверхностей после обработки анализируемыми растворами

Table 2.

Analysis of the appearance of the front surfaces after treatment with the analyzed solutions

| Соотношение раствора к воде<br>Solution ratio to water | День анализа   Analysis day |                                                                                                                                      |                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                        | 1                           | 3                                                                                                                                    | 7                                                                                                                                    |
| Необработанный<br>Untreated                            | Нет поражений<br>No losses  | 28% изделий на гранях и ребрах имеют зеленоватые высолообразования<br>28% of products on edges and edges have greenish efflorescence | 87% изделий на гранях и ребрах имеют зеленоватые высолообразования<br>87% of products on edges and edges have greenish efflorescence |
| 1:1000                                                 |                             | 16% изделий на гранях и ребрах имеют зеленоватые высолообразования<br>16% of products on edges and edges have greenish efflorescence | 48% изделий на гранях и ребрах имеют зеленоватые высолообразования<br>48% of products on edges and edges have greenish efflorescence |
| 2:1000                                                 |                             | Нет поражений   No losses                                                                                                            |                                                                                                                                      |
| 3:1000                                                 |                             |                                                                                                                                      |                                                                                                                                      |

Водопоглощение определяли при атмосферном давлении в воде с температурой (20 ± 5 °С). Определяли влияние обработки лицевого кирпича

водным раствором метилсиликоната калия на водопоглощение изделий, которое должно быть не ниже 6% и, как правило, не выше 14% [8,18].

Испытания проводили на 5-ти образцах без обработки и 5-ти с обработкой. Результаты представлены на рисунке 2.

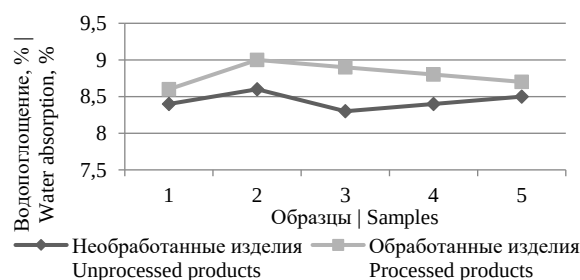


Рисунок 2. Водопоглощение необработанных изделий и обработанных гидрофобизирующим раствором

Figure 2. Water absorption of untreated products and those treated with a hydrophobic solution

Обработка изделий водным раствором метилсиликоната калия приводит к незначительному повышению водопоглощения, что в свою очередь, как отмечено авторами [12,17], сохраняет качество и прочность кирпича в местностях с нестабильными климатическими условиями.

Испытание на морозостойкость проходили 5 образцов без обработки и 5 после обработки (высушенные до постоянной массы). Контроль морозостойкости проводили при объемном замораживании. Именно этим параметром определяется долговечность кирпичного сооружения. Как правило, морозостойкость кирпича – 25–50 циклов, реже – 75. [13-14]

Изделия без обработки прошли полные 75 циклов замораживания и оттаивания, и только 2 образца из пяти выдержали 100 циклов. Исследуемые изделия, обработанные раствором метилсиликоната калия, показали хороший результат, и все 5 образцов прошли полные 100 циклов замораживания и оттаивания с незначительными дефектами на ребрах лицевых поверхностей.

В лаборатории предприятия ООО «Тербунский гончар» провели испытания образцов на определение предела прочности при изгибе и сжатии. Предел прочности при изгибе определяли по наибольшей нагрузке  $P$ , установленной при испытании, с учетом геометрических характеристик сечения изделия. Предел прочности при сжатии отдельного образца вычисляли путем

деления максимальной нагрузки, отмеченной при испытании, на площадь поперечного сечения образца, которая вычисляется как среднее арифметическое двух измерений площадей верхней и нижней граней с погрешностью 0,1 МПа [15-17].

В результате образцы, обработанные метилсиликонатом, показали высокие результаты как по прочности при сжатии, так и при изгибе (таблица 3). После испытаний в соответствии с техническими требованиями устанавливают марку кирпича по прочности от М 300 до М 100. Испытуемые образцы соответствуют необходимым характеристикам, в результате чего им присвоена марка М 250. Для этой марки предел прочности при сжатии должен находиться в интервале 20–25 МПа, а предел прочности при изгибе 2–3,9 МПа [19-20].

Таблица 3.

Результаты испытаний на пределы прочности при изгибе и сжатии образцов после обработки гидрофобизатором

Table 3.

The results of tests on the strength limits during bending and compression of samples after treatment with a hydrophobizer

| Образец<br>Sample | Предел прочности, МПа<br>Strength limit, MPa |                              |
|-------------------|----------------------------------------------|------------------------------|
|                   | При изгибе<br>Bending strength               | При сжатии<br>In compression |
| 1                 | 3,6                                          | 24,8                         |
| 2                 | 4,0                                          | 26,3                         |
| 3                 | 2,8                                          | 24,0                         |
| 4                 | 3,2                                          | 27,6                         |
| 5                 | 3,4                                          | 25,0                         |

## Заключение

Проблему высолообразования на лицевых керамических изделиях предлагается решить обработкой защитным покрытием 40–45-ным% водным раствором метилсиликоната калия после обжига кирпичей в туннельной печи.

Оптимальное соотношение водного раствора метилсиликоната калия к воде составило 2:1000.

Установлено, что водный раствор метилсиликоната калия (гидрофобизатор) не только предотвращает высолообразование, а также положительно влияет на прочность, водопоглощение и морозостойкость кирпича.

## Литература

- 1 Нифталиев С.И., Горбунова Е.М., Перегудов Ю.С., Кузнецова И.В. Исследование физико-химических свойств глин для создания алюмосиликатных катализаторов. // Химическая промышленность сегодня. 2020. № 1. С. 48–53.
- 2 Chang J. N., Wang, W.C., Wang, H.Y., Hu C.Y. A study of the mechanical properties and appearance of efflorescence in paving bricks under different curing environments //Construction and Building Materials. 2020. V. 265. P. 120148.
- 3 Bilgin N., Yeprem H.A., Arslan S., Bilgin A. et al. Use of waste marble powder in brick industry //Construction and Building Materials.2012. V. 29. P. 449–457. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.011

- 4 Бессонов И.В., Баранов В.С., Баранов В.В., Князева В.П. и др. Причины появления и способы устранения высолов на кирпичных стенах зданий // Жилищное строительство. 2014. № 7. С. 39–43.
- 5 Nhabih H.T., Arat K. K., Haidi A.S. Methods of Processing Efflorescence of Clay Brick // International Journal of Scientific Engineering and Science. 2020. V. 3. № 12. P. 48–56.
- 6 Анощенко Н. П., Анощенко Е. А., Шарина С. В. Причины возникновения высолов на стенах и методы их устранения // Достижения и перспективы научно-инновационного развития АПК. 2021. С. 485–490.
- 7 Гладышев С. А., Каравдина Я. А. Предотвращение образования высолов и устранение их на каменных конструкциях зданий // Наука в исследованиях молодежи. 2021. С. 208–211.
- 8 Наумов А.А. Устранение высолов на керамическом кирпиче // Строительные материалы. 2016. № 5. С. 37–39. doi: 10.31659/0585-430X-2016-737-5-37-39
- 9 ГОСТ 530–2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2013. 28 с.
- 10 ГОСТ 7025–91 Кирпич и камень керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости. – М.: Стандартиформ, 2003. 12 с.
- 11 ГОСТ 8462–85 Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. – М.: Стандартиформ, 2001. 7 с.
- 12 Al-Khafaji B.T., Study of the properties of clay brick made with the addition of certain additives // Journal of Babylon University. 2017. V. 25. №5. P.1539–1551.
- 13 Kizinievič O., Voišnienė, V., Kizinievič, V., Pundienė I. Impact of municipal solid waste incineration bottom ash on the properties and frost resistance of clay bricks // Journal of Material Cycles and Waste Management. 2022. V. 24 P. 237–249. doi: 10.1007/s10163-021-01314-4
- 14 Naumov A., Maltseva I., Kurilova S. Increase in frost resistance of a ceramic brick from clay raw materials of the Atyukhtinsky field // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2018. V. 365. № 3. P. 032003.
- 15 Singh S. B., Munjal P. Bond strength and compressive stress-strain characteristics of brick masonry // Journal of Building Engineering. 2017. V. 9. P. 10–16.
- 16 Nowak R. Kania, T.; Derkach, V.; Orłowicz, R. et al. Strength parameters of clay brick walls with various directions of force // Materials. 2021. V. 14. № 21. P. 6461.
- 17 Murthi P., Bhavani M., Musthaq S., Jauhar M. et al. Development of relationship between compressive strength of brick masonry and brick strength // Materials Today: Proceedings. 2021. V. 39. P. 258–262.
- 18 Li T., Fan Yo., Wang K., Song S. et al. Methyl-modified silica hybrid fluorinated Paraloid B-72 as hydrophobic coatings for the conservation of ancient bricks // Construction and Building Materials. 2021. V. 299. P. 123906.
- 19 Мучкинова Л. И., Савич В. Л., Отев К. С. Оценка погрешности измерений при определении механического сопротивления образцов кирпича методом одноосного испытания на прочность при сжатии // Components of Scientific and Technological Progress. 2024. №4(94). С. 73–80.
- 20 Ищук М. К. Исследование прочности на сжатие кирпича и камня при различных способах подготовки поверхности опытных образцов // Эффективные строительные конструкции: теория и практика. 2021. С. 49–54.

## References

- 1 Niftaliev S.I., Gorbunova E.M., Peregudov YU., Kuznetsova I.V. et al. Study of physical and chemical properties of clays for creation of aluminosilicate sorbents // Chemical industry developments. 2020. no. 1. pp. 48–53. (in Russian).
- 2 Chang J. N. Wang, W.C., Wang, H.Y., Hu C.Y. A study of the mechanical properties and appearance of efflorescence in paving bricks under different curing environments // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 265. pp. 120148.
- 3 Bilgin N., Yeprem H.A., Arslan S., Bilgin A. et al. Use of waste marble powder in brick industry // Construction and Building Materials. 2012. Vol. 29. pp. 449–457. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.011
- 4 Bessonov I.V., Baranov V.S., Baranov V.V., Knyazeva V.P. et al. The causes of the appearance and methods of eliminating efflorescences on brick walls of buildings // Housing construction. 2014. no. 7. pp. 39–43. (in Russian).
- 5 Nhabih H.T., Arat K. K., Haidi A.S. Methods of Processing Efflorescence of Clay Brick // International Journal of Scientific Engineering and Science. 2020. Vol. 3. no. 12. pp. 48–56.
- 6 Anoshchenko N. P., Anishchenko E. A., Shadrina S. V. Causes of efflorescence on walls and methods of their elimination // Achievements and prospects of scientific and innovative development of the agro-industrial complex. 2021. pp. 485–490. (in Russian).
- 7 Gladyshev S. A., Karavdina Ya. A. Prevention of efflorescence formation and their elimination on stone structures of buildings // Science in youth studies. 2021. pp. 208–211. (in Russian).
- 8 Naumov A.A. Elimination of efflorescence on ceramic bricks // Building materials. 2016. no. 5. pp. 37–39. doi: 10.31659/0585-430X-2016-737-5-37-39 (in Russian).
- 9 State standard 530-2012. Ceramic brick and stone. General technical conditions. – М.: Standardform, 2013. 28 p. (in Russian).
- 10 State standard 7025-91. Ceramic and silicate bricks and stones. Methods for determining water absorption, density and frost resistance control – М.: Standardform, 2003. 12 p. (in Russian).
- 11 State standard 8462-85. Wall materials. Methods for determining compressive and bending strength limits. – М.: Standardform, 2001. 7 p. (in Russian).
- 12 Al-Khafaji B.T., Study of the properties of clay brick made with the addition of certain additives // Journal of Babylon University. 2017. V.25. no.5. P.1539–1551
- 13 Kizinievič O., Voišnienė, V., Kizinievič, V., Pundienė I. Impact of municipal solid waste incineration bottom ash on the properties and frost resistance of clay bricks // Journal of Material Cycles and Waste Management. 2022. pp. 1–13.
- 14 Naumov A., Mal'tseva I., Kurilova S. Increase in frost resistance of a ceramic brick from clay raw materials of the Atyukhtinsky field // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2018. Vol. 365. no. 3. pp. 032003. (in Russian).

- 15 Singh S. B., Munjal P. Bond strength and compressive stress-strain characteristics of brick masonry // *Journal of Building Engineering*. 2017. Vol. 9. pp. 10-16.
- 16 Nowak R., Kania T., Derkach V., Orłowicz R. et al. Strength parameters of clay brick walls with various directions of force // *Materials*. 2021. Vol. 14. no. 21. pp. 6461.
- 17 Murthi P. Bhavani M., Musthaq S., Jauhar M. et al. Development of relationship between compressive strength of brick masonry and brick strength // *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 39. pp. 258-262
- 18 Li T., Fan Yo., Wang K., Song S. et al. Methyl-modified silica hybrid fluorinated Paraloid B-72 as hydrophobic coatings for the conservation of ancient bricks // *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 299. pp. 123906.
- 19 Muchkinova L. I., Savich V. L., Otv K. S. Estimation of measurement error in determining the mechanical resistance of brick samples by uniaxial compression strength testing // *Components of Scientific and Technological Progress*. 2024. no. 4(94). pp. 73-80. (in Russian).
- 20 Ishchuk M. K. Investigation of the compressive strength of brick and stone in various methods of surface preparation of prototypes // *Effective building structures: theory and practice*. 2021. pp. 49-54. (in Russian).

## Сведения об авторах

**Ирина В. Кузнецова** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kuznetsovaiv@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-6666-6292>

**Анастасия В. Дошина** технолог, заводская лаборатория, ООО Тербунский гончар, 399540, Липецкая область, с. Тербуны, ул. Дорожная 5в, nasyadoshina@ya.ru

**Светлана Е. Плотникова** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, burkovasweta@ya.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-6331-554x>

**Елена М. Горбунова** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lobanova8686@gmail.com  
 <https://orcid.org/0000-0002-3550-0115>

**Сабухи И. Нифталиев** д.х.н., профессор, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, niftaliev@mail.com  
 <https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

**Владимир С. Сертаков** студент, факультет экологии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vova.petrudin2017@ya.ru  
 <https://orcid.org/0009-0000-9359-9339>

## Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Information about authors

**Irina V. Kuznetsova** Cand. Sci. (Chem), assistant professor, Department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kuznetsovaiv@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-6666-6292>

**Anastasiya V. Doshina** Technologist, Laboratory, Terbunski gonchar, v. Terbuny, 5b Dorozhnaya, 399540, Russia, nasyadoshina@ya.ru

**Svetlana E. Plotnikova** Cand. Sci. (Chem), assistant professor, Department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, burkovasweta@ya.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-6331-554x>

**Elena M. Gorbunova** Cand. Sci. (Chem), assistant professor, Department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lobanova8686@gmail.com  
 <https://orcid.org/0000-0002-3550-0115>

**Sabukhi I. Niftaliev** Dr. Sci. (Chem.), professor, Department of inorganic chemistry and chemical technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, niftaliev@mail.com  
 <https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

**Vladimir S. Sertakov** student, Faculty of Ecology and Chemical Technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vova.petrudin2017@ya.ru  
 <https://orcid.org/0009-0000-9359-9339>

## Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 21/10/2024 | После редакции 13/11/2024      | Принята в печать 29/11/2024 |
| Received 21/10/2024  | Accepted in revised 13/11/2024 | Accepted 29/11/2024         |

## Влияние дисперсности комплексного активатора вулканизации на свойства резиновых смесей и резин

|                        |              |                                                                  |                                                                                                         |
|------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ольга В. Карманова     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kaf-tospp@vsuet.ru">kaf-tospp@vsuet.ru</a>       |  0000-0003-2226-6582 |
| Александр А. Голякевич | <sup>1</sup> | <a href="mailto:sasha4292@yandex.ru">sasha4292@yandex.ru</a>     |  0000-0003-4206-8874 |
| Жанна С. Шашок         | <sup>1</sup> | <a href="mailto:shashok@belstu.by">shashok@belstu.by</a>         |  0000-0003-2279-6866 |
| Анастасия А. Лешкевич  | <sup>2</sup> | <a href="mailto:nastyonke@mail.ru">nastyonke@mail.ru</a>         |  0000-0001-8295-4972 |
| Константин Д. Сафонов  | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kon.safonov2017@ya.ru">kon.safonov2017@ya.ru</a> |  0000-0001-8295-4972 |

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

2 Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь)

**Аннотация.** Представлены результаты исследования резиновых смесей и резин, в составе которых в использован опытный продукт – комплексный активатор вулканизации со сниженным содержанием оксида цинка, полученный на основе бентонита разных марок. Изучен гранулометрический состав и свойства бентонитов, применяемых для синтеза опытного активатора. В соответствии с разработанной методикой осуществлен синтез линейки опытных активаторов вулканизации с бентонитами разных фракций. В ходе измельчения и последующего фракционирования опытных активаторов вулканизации получены опытные продукты с размером частиц от 0,1 до 1,4 мм. Исследованы свойства резиновых смесей и вулканизатов, полученных с использованием опытного продукта различной дисперсности. Изучены вулканизационные свойства резиновых смесей на основе изопренового каучука марки СКИ-3 и разных активаторов вулканизации, а также упруго-прочностные свойств вулканизатов, рассчитаны константы вулканизации. В качестве образца сравнения использовали образец, в которой в качестве активаторов вулканизации вводили оксид цинка и стеариновую кислоту. В ходе испытаний резиновых смесей, полученных с использованием различных фракций опытного комплексного активатора вулканизации выявлено снижение времени оптимума вулканизации до 27% по сравнению с образцом сравнения при незначительном уменьшении времени начала вулканизации и увеличение скорости процесса. Отмечено некоторое снижение максимального крутящего момента при использовании опытных активаторов вулканизации. Анализ упруго-прочностных свойств резин показал, что по условной прочности при растяжении опытные образцы превосходят эталонный на 20–40%. Относительное удлинение при разрыве у опытных резин выше на 50–80%, чем у образца сравнения, что свидетельствует о формировании более равномерной вулканизационной сетки в присутствии опытных продуктов. Установлено, что образцы опытных активаторов с размерами частиц от 1 до 0,2 мм обеспечивает лучший комплекс физико-механических свойств и могут быть рекомендованы к практическому использованию в составе резиновых смесей, что позволит снизить содержание токсичного для окружающей среды оксида цинка.

**Ключевые слова:** активатор вулканизации, оксид цинка, резиновая смесь, дисперсность.

## Influence of dispersibility of complex vulcanization activator on properties of rubber mixtures and rubbers

|                          |              |                                                                  |                                                                                                           |
|--------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Olga V. Karmanova        | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kaf-tospp@vsuet.ru">kaf-tospp@vsuet.ru</a>       |  0000-0003-2226-6582 |
| Alexander A. Golyakevich | <sup>1</sup> | <a href="mailto:sasha4292@yandex.ru">sasha4292@yandex.ru</a>     |  0000-0003-4206-8874 |
| Zhanna S. Shashok        | <sup>1</sup> | <a href="mailto:shashok@belstu.by">shashok@belstu.by</a>         |  0000-0003-2279-6866 |
| Anastasia A. Leshkevich  | <sup>2</sup> | <a href="mailto:nastyonke@mail.ru">nastyonke@mail.ru</a>         |  0000-0001-8295-4972 |
| Konstantin D. Safonov    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:kon.safonov2017@ya.ru">kon.safonov2017@ya.ru</a> |  0000-0001-8295-4972 |

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

2 Belarusian State Technological University Department, Sverdlova st., 13a, Minsk, 20006, Republic of Belarus

**Abstract.** In the study of experimental complex vulcanization activators with a reduced content of zinc oxide, obtained on the basis of bentonite. The properties of rubber mixtures, vulcanizates obtained with the use of vulcanization activators of various fractional composition have been investigated. The granulometric composition and the content of volatile substances in various bentonites have been studied. Based on the data obtained, bentonite was selected and an experimental vulcanization activators was synthesized. The synthesis of a series of experimental vulcanization activators with bentonites of different fractions was carried out in accordance with the developed methodology. During the grinding and subsequent fractionation of experimental vulcanization activators, experimental products with a particle size of 0.1 to 1.4 mm were obtained. The vulcanization properties of rubber compounds based on SKI-3 isoprene rubber, elastic-strength properties were studied, and the vulcanization constants were calculated. During the tests of rubber compounds obtained using various fractions of an experimental complex vulcanization activator, it was revealed: a decrease in the time of the optimum vulcanization to 27 % (compared to the comparison sample) with a slight decrease in the time of the onset of vulcanization. The reduction in torque was noted. Analysis and strength rubbers showed that the relative tensile strength of the prototypes exceeded the reference one by 20-40%. The elongation at break in the experimental rubber is 50-80 % higher than that of the serial sample, which indicates the formation of a more uniform vulcanization network in the experimental products. It has been established that experienced vulcanization activators with a reduced content of zinc oxide with particle sizes from 1 to 0.2 mm provides the best complex of physical and mechanical properties and can be recommended for practical use in the composition of rubber compounds, which will reduce the content of zinc oxide toxic to the environment.

**Keywords:** vulcanization activator, zinc oxide, rubber compound, particle size.

### Для цитирования

Карманова О.В., Голякевич А.А., Шашок Ж.С., Лешкевич А.А., Сафонов К.Д. Влияние дисперсности комплексного активатора вулканизации на свойства резиновых смесей и резин // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 207–214. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-207-214

### For citation

Karmanova O.V., Golyakevich A.A., Shashok J.S., Leshkevich A.A., Safonov K.D. Influence of dispersibility of complex vulcanization activator on properties of rubber mixtures and rubbers. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 207–214. (in Russian). doi: 10.20914/2310-1202-2024-4-207-214

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Современное развитие промышленности и транспорта диктует необходимость совершенствования рецептуры резин, являющихся уникальным конструкционным материалом, проявляющим высокоэластические свойства в широком диапазоне температур эксплуатации, а также в экстремальных условиях. Это стало возможным, прежде всего, благодаря применению различных вулканизирующих систем, включающих соединения различных классов, которые различаются по механизму действия.

В серных вулканизирующих системах активаторы вулканизации выполняют роль центров при образовании действительных агентов вулканизации и участвуют в формировании в ходе сшивания каучука пространственной структуры. На протяжении многих лет и в настоящее время в резинотехнической и шинной промышленности в качестве активатора вулканизации применяется оксид цинка в виде технического продукта – цинковых белил. Цинк – один из важных микроэлементов в природе и наименее вредный из тяжёлых металлов. Но уже с 2004 г. его классифицируют как опасный для окружающей среды компонент в рецептуре резиновых смесей. В основном это связано с тем, что во время производства, эксплуатации (мелкодисперсные частицы износа протекторов шин), утилизации и переработки резиновых изделий ионы цинка попадают в почву, грунтовые воды и водоёмы. Их накопление приводит к превышению предельно допустимой концентрации и токсичному воздействию на человека, растения и водные биоресурсы [1].

На сегодняшний день при производстве резинотехнических изделий и шин невозможно полностью отказаться от оксида цинка или заменить его на экологически безопасные активаторы без ухудшения физико-механических показателей резин. Таким образом, актуальной задачей для повышения экологической безопасности является проведение исследовательских работ, направленных на создание компонентов рецептур с пониженным содержанием оксида цинка при сохранении технических свойств резин.

В настоящее время на основании накопленных теоретических знаний и экспериментальных материалов разрабатываются новые активирующие комплексы, которые могут отличаться по механизму действия, но иметь общие закономерности образования вулканизационных структур. Поэтому при их создании необходимо учитывать взаимодействие между компонентами вулканизирующей группы, как на стадии приготовления композиций, так и на стадии вулканизации [2].

Как известно, при введении в эластомер оксид цинка распределяется по объёму в виде

кристаллических частиц. Поверхность этих частиц можно рассматривать в качестве каталитической матрицы, на которой адсорбируются молекулы ускорителей, серы и жирных кислот и образуются промежуточные комплексы. Основным требованием для образования плотной вулканизационной сетки, является равномерное диспергирование частиц оксида цинка в каучуке.

Так, в работе авторов [3] предложено использование нано-ZnO который отличается от обычного оксида цинка сверхмалым средним размером частиц – 20–40 нм и высокой удельной площадью поверхности 15–45 м<sup>2</sup>/г. Высокая активность нано-ZnO связана с увеличенной площадью контакта частицы с цепями полимера по сравнению с обычными цинковыми белилами. Полученные экспериментальные данные вулканизационных свойств резин на основе нано-ZnO позволили сделать выводы, о возможном сокращении содержания цинка в резиновых смесях в 10 раз. Однако, нанопорошки, из-за высокой поверхностной энергии проявляют тенденцию к агрегации в эластомерах. Агрегация снижает активность активатора в процессе вулканизации и приводит к ухудшению механических свойств резиновых изделий.

В работе [4] при исследовании поверхностной энергии, кислотно-основных свойств наночастиц оксида цинка с различной морфологией и размерами частиц было установлено, что поверхностная энергия оксида цинка должна быть близка к поверхностной энергии эластомера (около 30–50 мДж/м<sup>2</sup>) для обеспечения однородной дисперсии в полимерной матрице. Эффективное диспергирование можно проводить смешением при более высоких температурах. Другой вариант снижения агрегации был предложен в работе [5]. Поверхность наночастиц модифицировали органическими соединениями для уменьшения поверхностной энергии и уменьшения их склонности к агрегации в присутствии эластомера.

Одним из путей снижения в рецептурах необходимого количества оксида цинка возможно при применении новых композиционных агентов вулканизации, синтезированных на основе компонентов серной вулканизирующей системы и активаторов. Получаемые легко гранулируемые эвтектические смеси, твердые растворы и молекулярные комплексы обеспечивают образование предшественников сшивания до введения в резиновую смесь [6].

Так, авторами [7] перед добавлением в матрицу каучука были получены комплексы цинк-м-глицерината, а также изучено влияние продукта взаимодействия ускорителя вулканизации, стеариновой кислоты и оксида цинка на свойства вулканизатов. Установлено, что м-глицеринат

цинка является хорошей заменой оксиду цинка как активатора вулканизации в рецептурах на основе этилен-пропиленового и бутадиен-стирольного каучуков и не оказывает отрицательного влияния на вулканизационные и физико-механические свойства резин.

Для замены цинковых белил авторами [8] был разработан и внедрён в производство продукт Вулкатив Н. Данный продукт представляет композиционный активатор вулканизации, полученный путём сплавления оксида цинка с жирными кислотами и их производными, полученными из отходов масложирового производства. В рецептурах исследуемых резиновых смесей заменяли оксид цинка и стеариновую кислоту на продукт Вулкатив Н в эквивалентных дозировках. В качестве эталона использовали серийные резины, содержание оксид цинка и стеариновую кислоту. Установлено, что введение Вулкатив Н в промышленные рецептуры формовых изделий на основе комбинации бутадиен-стирольного и бутадиенового каучуков, неформовых изделий на основе этиленпропиленового каучука позволяет получить резиновые смеси и вулканизаты, не уступающие по свойствам аналогам, в которых содержится оксид цинка.

**Цель работы** – изучение влияния фракционного состава комплексного активатора вулканизации с пониженным содержанием оксида цинка на свойства резиновых смесей и вулканизатов.

### Материалы и методы

В качестве объектов исследования применяли комплексные активаторы вулканизации на основе оксида цинка, которые содержали органо-минеральные комплексы, полученные из стеариновой кислоты и бентонитов разных производителей, различающихся физико-химическими характеристиками.

Опытные активаторы вулканизации, которые характеризовались пониженным содержанием оксида цинка (30 % масс) получены на лабораторной установке, оборудованной обогреваемым реактором и высокоскоростной мешалкой. В процессе их получения осуществлялась дробная подача компонентов, температуру синтеза поддерживали в диапазоне  $\pm 10$  °С, скорость вращения мешалки 600 мин<sup>-1</sup>, продолжительность синтеза 1 ч. Полученную пастообразную массу охлаждали в эксикаторе до комнатной температуры и измельчали в лабораторной мельнице [9].

Для изучения влияния полученных опытных активаторов на вулканизационные свойства резиновых смесей и физико-механические показатели резин разработаны модельные рецептуры на основе изопренового каучука СКИ-3

(ГОСТ 14925–79). Резиновые смеси готовили в лабораторном микросмесителе с объёмом камеры 0,01 м<sup>3</sup>. В качестве эталона использовали резиновую смесь, содержащую (в масс. ч. на 100 масс. ч. каучука): сера – 2 масс. ч.; стеариновая кислота – 1,5 масс. ч.; цинковые белила – 5 масс. ч.; ускоритель вулканизации сульфенамид Ц – 3 масс. ч; технический углерод П 514 – 60 масс. ч. Вулканизацию проводили в вулканизационном прессе с электрическим обогревом при температуре 143 °С в течение 30 минут.

Кинетику вулканизации изучали на реометре MDR-2000 при температуре 155 °С. С помощью программного обеспечения «GetData Graph Digitizer» полученные реометрические кривые оцифровывали и в программе «Vulcanization 1.0» определяли константы скорости вулканизации.

Согласно методикам, представленным в стандартах подготовлены образцы и проведен комплекс физико-механических испытаний по определению упруго прочностных свойств вулканизатов (ГОСТ 270–75), твёрдость по Шору А (ГОСТ 263 – 75), эластичность по отскоку (ГОСТ 27110–86). Концентрацию поперечных связей резин определяли методом равновесного набухания в толуоле [10].

### Результаты и обсуждение

На первом этапе проведены исследования фракционного состава бентонитов разных производителей, которым присвоены шифры: Б1; Б2; Б3; Б4.

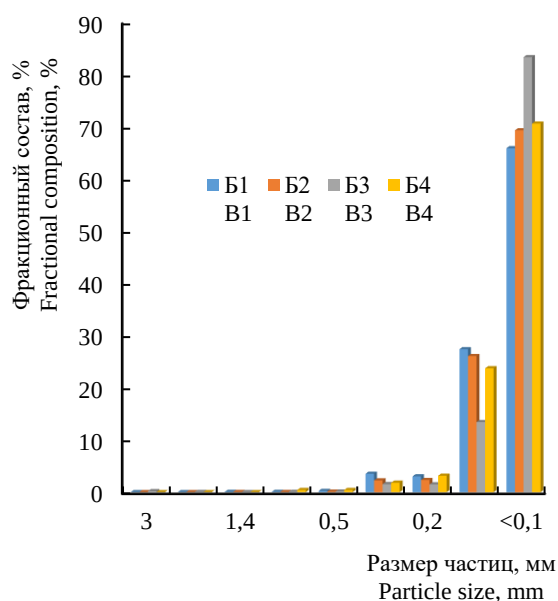


Рисунок 1. Фракционный состав бентонитов разных марок

Figure 1. Fractional composition of bentonites of different brands

В ходе исследований выявлено (рисунок 1), что во всех марках бентонита доля фракций с размером менее 0,1 мм составляет более 65 %. Для бентонита Б3 содержание фракций с размером менее 0,1 мм, составило 83 %. Одним из ключевых параметров для синтеза комплексных активаторов вулканизации является содержание летучих в исходном сырье. Поэтому все бентониты предварительно прокаливали в термостате при 105 °С, и определяли потерю их массы (рисунок 2).

Установлено, что меньшим содержанием летучих характеризуется бентонит шифра Б4 – 4,64 %, остальные образцы имели значение показателя > 7 %. Поэтому для синтеза опытного активатора был выбран бентонит под шифром Б-4.

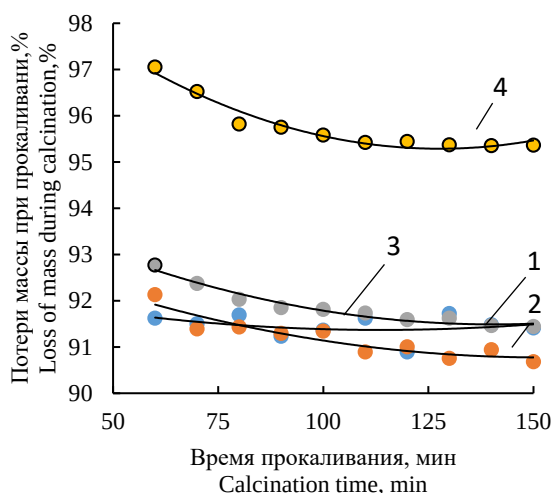


Рисунок 2. Потери массы при прокаливании бентонитов разных марок при 105 °С: 1-Б1; 2 – Б2, 3-Б3; 4-Б4

Figure 2. Mass loss during calcination of bentonites of different brands at 105° C: 1-B1; 2 – B2, 3-B3; 4-B4

Опытный активатор вулканизации получен в лабораторной установке путем сплавления оксида цинка со стеариновой кислотой, адсорбированной на бентоните шифа Б4. Полученный продукт измельчали.

Методом ситового анализа, осуществляли фракционирование измельчённого опытного продукта с использованием сит с размером ячейки от 0,1 до 1 мм. При рассеивании на ситах опытного активатора вулканизации получены фракции с размером частиц менее 0,1 мм и до 1 мм (рисунок 3). На их основе приготовлены модельные резиновые смеси следующих шифров в зависимости от фракционного состава: 1 мм – Р1; 0,5 мм – Р 0,5; 0,25 мм – Р 0,25; 0,2 мм – Р 0,2; 0,1 мм – Р 0,1; <0,1 мм – Р0.

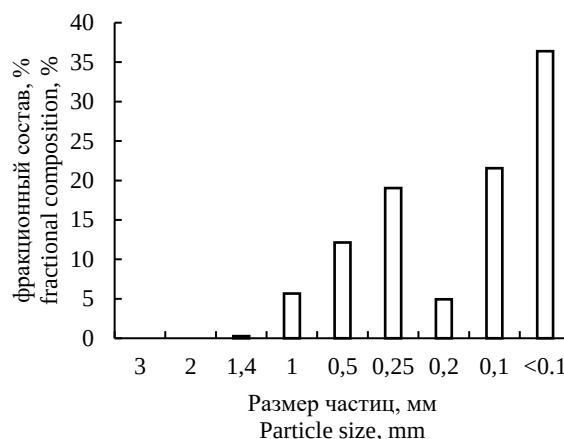


Рисунок 3. Фракционный состав опытных активаторов вулканизации

Figure 3. Fractional composition of experimental vulcanization activators

В таблице 1 представлены вулканизационные показатели исследуемых смесей. Так, опытные резиновые смеси практически не отличались от образца сравнения, что свидетельствует об удовлетворительных технологических свойствах. Изменения вязкости резиновых смесей при введении опытных активаторов вулканизации разной дисперсности оценены по значениям  $M_{\min}$ . Полученные данные указывают на то, что размер частиц опытного активатора мало влияет на реологическое поведение, но может оказывать влияние на скорость вулканизации и на формирование пространственной сетки, активируя реакции присоединения серы к макромолекулам и являясь центром образования действительных агентов вулканизации.

Применение всех опытных активаторов вулканизации обеспечивает снижение оптимума вулканизации на 21–27 %. При этом сокращение времени начала вулканизации не превысило 20 %. Таким образом, все опытные резиновые смеси имели более высокие скорости вулканизации. Это может быть обусловлено большей удельной поверхностью опытных продуктов и большей доступностью ионов  $Zn^{2+}$  в процессе вулканизации. Для более детального анализа кинетики сшивания каучука в присутствии опытных активаторов выделяли основные стадии вулканизации и рассматривали константы скорости (таблица 2).

Сравнивая упруго-прочностные показатели эталонной и опытных резин (таблица 3), можно сделать вывод о том, что дисперсность активатора оказывает значительное влияние на формирование структуры вулканизата, а именно: при размере частиц от 0,2 до 0,5 мм свойства резины характеризовались особенно высокими значениями. При этом следует отметить, что все опытные образцы имели достаточно высокие значения твёрдости.

Деформационные характеристики опытных вулканизатов, оценённые по относительному удлинению при разрыве указывают на преимущество опытных активаторов относительно

комбинации оксида цинка и стеариновой кислоты, т. к. наблюдали увеличение относительного удлинения и близкие значения остаточного удлинения.

Таблица 1.  
Вулканизационные характеристики резиновых смесей на основе каучука СКИ-3

Table 1.

Vulcanization characteristics of rubber compounds based on rubber SKI-3

| Показатели<br>Indicator                                                 | Образец сравнения<br>Reference | P1<br>R1 | P 0,5<br>R 0,5 | P 0,25<br>R 0,25 | P 0,2<br>R 0,2 | P 0,1<br>R 0,1 | P <0,1<br>R <0,1 |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|----------------|------------------|----------------|----------------|------------------|
| $M_{min}$ , ДН · м / $M_{min}$ , dN · m                                 | 11,5                           | 12       | 12,2           | 11,6             | 11,2           | 11,6           | 11,9             |
| $M_{max}$ , ДН · м / $M_{max}$ , dN · m                                 | 54,5                           | 47,5     | 49,0           | 47,0             | 45,5           | 46,0           | 44,9             |
| $M_{90}$ , ДН · м / $M_{90}$ , dN · m                                   | 50,2                           | 43,9     | 45,3           | 43,5             | 42,1           | 42,1           | 41,6             |
| $\tau_s$ , мин / $\tau_s$ , minutes                                     | 2,38                           | 1,9      | 1,9            | 1,9              | 2,0            | 1,9            | 2,0              |
| $\tau_{90}$ , мин / $\tau_{90}$ , minutes                               | 4,7                            | 3,4      | 3,6            | 3,5              | 3,4            | 3,4            | 3,8              |
| $\Delta\tau$ , мин <sup>-1</sup> / $\Delta\tau$ , minutes <sup>-1</sup> | 42,2                           | 66,5     | 60             | 63,5             | 72,5           | 67,8           | 57,1             |

Примечание:  $M_{min}$  – минимальный крутящий момент;  $M_{max}$  – максимальный крутящий момент;  $M_{90}$  – крутящий момент, соответствующий оптимуму вулканизации;  $\tau_s$  – время начала вулканизации;  $\tau_{90}$  – время достижения 90 % степени вулканизации;  $\Delta\tau$  – скорость вулканизации

Note:  $M_{min}$  is the minimum torque;  $M_{max}$  is the maximum torque;  $M_{90}$  is the torque corresponding to the optimum of vulcanization;  $\tau_s$  is the time of the beginning of vulcanization;  $\tau_{90}$  is the time to reach 90% of the degree of vulcanization;  $\Delta\tau$  is the rate of vulcanization

Таблица 2.  
Кинетические параметры вулканизации

Table 2.

Kinetic parameters of vulcanization

| Константы скорости вулканизации<br>Vulcanization rate constants | Образец сравнения<br>Reference | P1<br>R1 | P 0,5<br>R 0,5 | P 0,25<br>R 0,25 | P 0,2<br>R 0,2 | P 0,1<br>R 0,1 | P <0,1<br>R <0,1 |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|----------------|------------------|----------------|----------------|------------------|
| $K_1$                                                           | 0,022                          | 0,044    | 0,036          | 0,036            | 0,033          | 0,031          | 0,034            |
| $K_2$                                                           | 0,84                           | 0,92     | 0,94           | 0,96             | 0,9761         | 0,94           | 0,94             |
| $K_3$                                                           | 3,23                           | 3,48     | 4,91           | 4,33             | 3,94           | 3,84           | 4,01             |
| $K_4$                                                           | 270                            | 287      | 269            | 252              | 270            | 269            | 284              |

Примечание. Константы скорости вулканизации:  $K_1$  – образование полисульфидных подвесок;  $K_2$  – распад подвесок;  $K_3$  – образование узлов вулканизационной сетки;  $K_4$  – ингибирование сшивания

Note. Vulcanization rate constants:  $K_1$  – formation of polysulfide suspensions;  $K_2$  – disintegration of suspensions;  $K_3$  – formation of vulcanization mesh nodes;  $K_4$  – inhibition of crosslinking

Таблица 3.  
Физико-механические свойства резин на основе каучука СКИ-3

Table 3.

Physico-mechanical properties of rubber-based SKI-3

| Показатели<br>Indicators                                                               | Образец сравнения<br>Reference | P1<br>R1 | P 0,5<br>R 0,5 | P 0,25<br>R 0,25 | P 0,2<br>R 0,2 | P 0,1<br>R 0,1 | P <0,1<br>R <0,1 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|----------------|------------------|----------------|----------------|------------------|
| $M_{100}$ , МПа<br>$M_{100}$ , MPa                                                     | 4,7                            | 3,4      | 7,3            | 5,8              | 7,8            | 4,3            | 2,7              |
| $M_{300}$ , МПа<br>$M_{300}$ , MPa                                                     | 9,9                            | 9,2      | 16,2           | 15,3             | 16,8           | 15,1           | 14,1             |
| $f_p$ , МПа<br>$f_p$ , MPa                                                             | 12,6                           | 13,7     | 20,5           | 19,9             | 22,0           | 15,3           | 15,5             |
| $\varepsilon$ , %                                                                      | 183                            | 290      | 220            | 313,3            | 280            | 276,7          | 330              |
| $\Theta$ , %                                                                           | 1,3                            | 4,0      | 5,3            | 5,3              | 4,0            | 5,3            | 4,0              |
| $H_A$ , усл. ед.                                                                       | 74                             | 69       | 71             | 68               | 68             | 65             | 66               |
| $E$ , %                                                                                | 52                             | 50       | 50             | 50               | 50             | 52             | 50               |
| $N_{эф} \cdot 10^{20}$ , см <sup>-3</sup><br>$N_{эф} \cdot 10^{20}$ , cm <sup>-3</sup> | 8,65                           | 9,57     | 8,33           | 9,53             | 9,28           | 13,92          | 13,06            |

Примечание:  $M_{100}$ ,  $M_{300}$  – условное напряжение при 100 и 300 % удлинении, соответственно;  $f_p$  – условная прочность при растяжении;  $\varepsilon$  – относительное удлинение при разрыве;  $\Theta$  – относительное остаточное удлинение;  $E$  – эластичность по отскоку, – твердость по Шору А;  $N_{эф}$  – эффективная концентрация поперечных связей

Note:  $M_{100}$ ,  $M_{300}$  – conditional stress at 100 and 300% elongation, respectively;  $f_p$  – conditional tensile strength;  $\varepsilon$  – elongation at break;  $\Theta$  – relative residual elongation;  $E$  – rebound elasticity, – Shore A hardness;  $N_{эф}$  – effective concentration of cross-links

При анализе структурных параметров вулканизационной сетки  $N_{эф}$  установлено, что с уменьшением размера частиц КАВ плотность поперечных связей возрастает, однако образец КАВ с размером частиц 1 мм по всем показателям превосходил эталон.

### Заключение

Установлено, что применение опытных комплексных активаторов вулканизации с размерами частиц от 1 до 0,2 мм в рецептуре резиновых смесей на основе синтетического полиизопрена обеспечивает лучший комплекс вулканизационных

характеристик резиновых смесей и физико-механических показателей вулканизатов. По влиянию на кинетику вулканизации опытные активаторы имеют преимущество по отношению к образцам сравнения, что подтверждается расчётными данными кинетических параметров процесса вулканизации. Полученные результаты согласуются с известными подходами по формированию предшественников сшивания с использованием твёрдых частиц оксида цинка [11] и могут быть использованы при разработке технологии получения альтернативных активаторов вулканизации.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям, договор № 2ГУРБ/2022 от 24.05.2022 г.

### Литература

- Maciejewska M., Krzywania-Kaliszewska A., Zaborski M. Surface properties of calcium and magnesium oxide nanopowders grafted with unsaturated carboxylic acids studied with inverse gas chromatography // *Journal of Chromatography*. 2012. V. 1257. C. 141–148.
- Pogodaev A.K., Tikhomirov, S.G., Karmanova, O.V. et al. Modeling elastomer properties in presence of a composite vulcanization activator. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2018. V. 53. № 5. P. 807–815.
- Przybyszewska M., Zaborski M. The effect of zinc oxide nanoparticle morphology on activity in crosslinking of carboxylated nitrile elastomer. *Express Polym.* V. 3. P. 542–552.
- Przybyszewska M., Krzywania A., Zaborski M., Szykowska M.I. et al. Surface properties of zinc oxide nanoparticles studied by inverse gas chromatography // *Journal of Chromatography A*. 2009. V. 1216. №. 27. P. 5284–5291.
- Fidelus J.D., Piticescu R.R., Piticescu R.M., Lojowski W. et al. Solvothermal synthesis of Co-doped ZnO nanopowders // *Zeitschrift für Naturforschung*. 2008. V. 63. №. 6. P. 725–729.
- Мухутдинов А.А., Нелюбин А.А., Ильясов Р.С. Экологические аспекты модификации ингредиентов и технологии производства шин. Казань. Фэн. 1999. 399 с.
- Heideman G.H., Noordermeer J.W., Datta R.N., Baarle B.V. Effect of zinc complexes as activator for sulfur vulcanization in various rubbers // *Rubber Chemistry and Technology*. 2005. V. 78. №. 2. P. 245–257.
- Карманова О.В., Тихомиров С.Г., Голякевич А.А. Применение новых активаторов вулканизации в производстве резинотехнических изделий // *Резиновая промышленность. Сырье. Материалы. Технологии: Доклады XXVI науч.-практ. конф.* Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-исследовательский центр "Научно-исследовательский институт шинной промышленности", 2021. – С. 107–108.
- Каюшников С.Н., Прокопчук Н.Р., Шашок Ж.С., Вишневский К.В. Свойства модельных резиновых смесей с различными активаторами вулканизации // *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*. 2014. №. 4 (168). С. 35–39.
- Мяделец В.В., Касперович А.В. Применение измельченного вулканизата в качестве наполнителя эластомерных композиций // *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*. 2017. №. 2 (199). С. 83–89.
- Карманова О.В., Фатнева А.Ю., Тихомиров С.Г., Попова Л.В. Влияние состава композиционного активатора вулканизации на свойства эластомеров // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2019. Т. 81. № 4(82). С. 178–183. doi:10.20914/2310-1202-2019-4-178-183
- Mostoni S., Milana P., Di Credico B., D'Arienzo M. et al. Zinc-based curing activators: new trends for reducing zinc content in rubber vulcanization process // *Catalysts*. 2019. V. 9. №. 8. P. 664.
- Yangthong H., Pichaiyut S., Wisunthorn S., Kummerlöwe C. et al. Role of geopolymer as a cure activator in sulfur vulcanization of epoxidized natural rubber // *Journal of Applied Polymer Science*. 2020. M. 137. №. 17. P. 48624.
- Alam M. N., Kumar V., Potiyaraj P., Lee D. J. et al. Synergistic activities of binary accelerators in presence of magnesium oxide as a cure activator in the vulcanization of natural rubber // *Journal of Elastomers & Plastics*. 2022. V. 54. №. 1. P. 123-144.
- de Lima D. R., da Rocha E. B. D., de Sousa A. M. F., da Costa A. C. A. et al. Effect of vulcanization systems on the properties of natural rubber latex films // *Polymer Bulletin*. 2021. V. 78. №. 7. P. 3943-3957.
- Siring M., Nimpai boon A., Kumarn S., Sirisinha C. et al. Viscoelastic and mechanical properties of large-and small-particle natural rubber before and after vulcanization // *Polymer Testing*. 2018. V. 70. P. 127-134.

- 17 Joseph A. M., George B., Madhusoodanan K. N., Alex, R. Current status of sulphur vulcanization and devulcanization chemistry: Process of vulcanization //Rubber Science. 2015. V. 28. №. 1. P. 82-121.
- 18 Ren T., Song P., Yang W., Formela K. et al. Reinforcing and plasticizing effects of reclaimed rubber on the vulcanization and properties of natural rubber //Journal of Applied Polymer Science. 2023. V. 140. №. 10. P. e53580.
- 19 Sripornsawat B., Thitithammawong A., Tulaphol S., Johns J. et al. Positive synergistic effects on vulcanization, mechanical and electrical properties of using deep eutectic solvent in natural rubber vulcanizates //Polymer Testing. 2021. V. 96. P. 107071.
- 20 Larpkasemsek A., Raksaksri L., Chuayjuljit S., Chaiwutthinan P. et al. Effects of sulfur vulcanization system on cure characteristics, physical properties and thermal aging of epoxidized natural rubber //Journal of Metals, Materials and Minerals. 2019. V. 29. №. 1.

## References

- 1 Maciejewska M., Krzywania-Kaliszewska A., Zaborski M. Surface properties of calcium and magnesium oxide nanopowders grafted with unsaturated carboxylic acids studied with inverse gas chromatography //Journal of Chromatography. 2012. Vol. 1257. pp. 141–148.
- 2 Pogodaev A.K., Tikhomirov, S.G., Karmanova, O.V. et al. Modeling elastomer properties in presence of a composite vulcanization activator. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2018. Vol. 53. no 5. pp. 807–815.
- 3 Przybyszewska M., Zaborski M. The effect of zinc oxide nanoparticle morphology on activity in crosslinking of carboxylated nitrile elastomer. Express Polym. Vol. 3. pp. 542–552.
- 4 Przybyszewska M., Krzywania A., Zaborski M., Szyrkowska M.I. et al. Surface properties of zinc oxide nanoparticles studied by inverse gas chromatography //Journal of Chromatography. 2009. Vol. 1216. no 27. pp. 5284–5291.
- 5 Fidelus J., Piticescu R.R., Piticescu R.M., Lojkowski W. et al. Solvothermal synthesis of Co-doped ZnO nanopowders //Zeitschrift für Naturforschung. 2008. Vol. 63. no. 6. pp. 725–729.
- 6 Mukhutdinov A.A., Nelyubin A.A., Ilyasov R.S. Ecological aspects of modification of ingredients and technology of tire production. Kazan. Fan. 1999. 399 p. (in Russian).
- 7 Heideman G., Noordermeer J.W., Datta R.N., Baarle B.V. Effect of zinc complexes as activator for sulfur vulcanization in various rubbers //Rubber Chemistry and Technology. 2005. Vol. 78. no. 2. pp. 245–257.
- 8 Karmanova O.V., Tikhomirov S.G., Golyakevich A.A. Application of new vulcanization activators in the production of rubber products // The rubber industry. Raw material. Materials. Technologies: Reports of the XXVI Scientific and Practical Conference. Moscow: Limited Liability Company Scientific Research Center Scientific Research Institute of the Tire Industry, 2021. pp. 107-108. (in Russian).
- 9 Kalashnikov S.N., Prokopchuk N.R., Shashok Zh.S., Vishnevsky K.V. Properties of model rubber compounds with various vulcanization activators // Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology. 2014. no. 4 (168). pp. 35-39. (in Russian)
- 10 Myadelets V.V., Kasperovich A.V. Use of crushed vulcanizate as a filler for elastomer compositions // Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology. 2017. no. 2 (199). pp. 83–89 4. (in Russian).
- 11 Karmanova O.V., Fatneva A.Yu., Tikhomirov S.G., Popova L.V. The effect of the composition of a composite vulcanization activator on the properties of elastomers // Proceedings of VSUET. 2019. Vol. 81. no. 4(82). pp. 178-183. doi: 10.20914/2310-1202-2019-4-178-183 (in Russian).
- 12 Mostoni S., Milana P., Di Credico B., D'Arienzo M. et al. Zinc-based curing activators: new trends for reducing zinc content in rubber vulcanization process //Catalysts. 2019. Vol. 9. no. 8. pp. 664.
- 13 Milani G., Milani F. Relation between activation energy and induction in rubber sulfur vulcanization: An experimental study //Journal of Applied Polymer Science. 2021. Vol. 138. no. 12. pp. 50073.
- 14 Alam M. N., Kumar V., Potiyaraj P., Lee D. J. et al. Synergistic activities of binary accelerators in presence of magnesium oxide as a cure activator in the vulcanization of natural rubber //Journal of Elastomers & Plastics. 2022. Vol. 54. no. 1. pp. 123-144.
- 15 de Lima D. R., da Rocha E. B. D., de Sousa A. M. F., da Costa A. C. A. et al. Effect of vulcanization systems on the properties of natural rubber latex films //Polymer Bulletin. 2021. Vol. 78. no. 7. pp. 3943-3957.
- 16 Sriring M., Nimpaboon A., Kumarn S., Sirisinha C. et al. Viscoelastic and mechanical properties of large-and small-particle natural rubber before and after vulcanization //Polymer Testing. 2018. Vol. 70. pp. 127-134.
- 17 Joseph A. M., George B., Madhusoodanan K. N., Alex R. Current status of sulphur vulcanization and devulcanization chemistry: Process of vulcanization //Rubber Science. 2015. Vol. 28. no. 1. pp. 82-121.
- 18 Ren T., Song P., Yang W., Formela K. et al. Reinforcing and plasticizing effects of reclaimed rubber on the vulcanization and properties of natural rubber //Journal of Applied Polymer Science. 2023. Vol. 140. no. 10. pp. e53580.
- 19 Sripornsawat B., Thitithammawong A., Tulaphol S., Johns J. et al. Positive synergistic effects on vulcanization, mechanical and electrical properties of using deep eutectic solvent in natural rubber vulcanizates //Polymer Testing. 2021. Vol. 96. pp. 107071.
- 20 Larpkasemsek A., Raksaksri L., Chuayjuljit S., Chaiwutthinan P. et al. Effects of sulfur vulcanization system on cure characteristics, physical properties and thermal aging of epoxidized natural rubber //Journal of Metals, Materials and Minerals. 2019. Vol. 29. no. 1.

### Сведения об авторах

**Ольга В. Карманова** д.т.н., профессор, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kaf-tospp@vsuet.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2226-6582>

**Александр А. Голякевич** аспирант, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sasha4292@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4206-8874>

**Жанна С. Шашок** д.т.н., профессор, кафедра полимерных композиционных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, shashok@belstu.by

 <https://orcid.org/0000-0003-2279-6866>

**Анастасия А. Лешкевич** к.т.н., старший преподаватель, кафедра полимерных композиционных материалов, Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь, , nastyonke@mail.ru

**Константин. Д. Сафонов** студент, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kon.safonov2017@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8295-4972>

### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Information about authors

**Olga V. Karmanova** Dr. Sci. (Engin.), professor, Technology of organic compounds and polymer processing Department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kaf-tospp@vsuet.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2226-6582>

**Alexander A. Golyakevich** post graduate student, Technology of organic compounds and polymer processing department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sasha4292@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4206-8874>

**Zhanna S. Shashok** Dr. Sci. (Engin.), professor, Polymer composite materials department, Belarusian State Technological University, Sverdlova st., 13a, Minsk, 20006, Republic of Belarus, shashok@belstu.by

 <https://orcid.org/0000-0003-2279-6866>

**Anastasia A. Leshkevich** Ph.D. (Engin.), Senior Lecturer, Polymer composite materials department, Belarusian State Technological University Department, Sverdlova st., 13a, Minsk, 20006, Republic of Belarus, nastyonke@mail.ru

**Konstantin D. Safonov** student, Technology of organic compounds and polymer processing department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kon.safonov2017@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8295-4972>

### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 21/10/2024 | После редакции 12/11/2024      | Принята в печать 25/11/2024 |
| Received 21/10/2024  | Accepted in revised 12/11/2024 | Accepted 25/11/2024         |

## Инжиниринг усовершенствованной модели хемосорбционно-адсорбционной химико-технологической системы рекуперации летучих органических соединений из газовой нефтетанкерной смеси

Валерий П. Мешалкин<sup>1</sup>[vpmeshalkin@gmail.com](mailto:vpmeshalkin@gmail.com) 0000-0000-9443-7847Евгений А. Бабаков<sup>1</sup>[babakhol@mail.ru](mailto:babakhol@mail.ru) 0000-0000-8484-3448<sup>1</sup> Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Миусская площадь, А-47, г. Москва, 125047, Россия

**Аннотация.** В статье рассматривается усовершенствование химико-технологических систем, применяемых для рекуперации паров нефти, с использованием хемосорбционно-адсорбционных схем, включающих узел хемосорбции. Этот узел, в состав которого входит дисковый комбинированный хемоаппарат, предназначен для удаления сернистых компонентов, представляющих экологическую опасность, из газовой смеси нефтетанкерного судна. Указанные компоненты негативно влияют на адсорбционные фильтры с активированным углем и загрязняют атмосферу. Актуальность данного исследования связана с тем, что морские терминалы вырабатывают значительные объемы легких органических и сернистых соединений, выбрасываемых в атмосферу. Процесс наполнения нефтетанков приводит к интенсивным испарениям нефти, что в свою очередь вызывает загрязнение воздуха и потери полезного продукта. Для решения этой проблемы предлагается использовать химико-технологические системы с узлом очистки от сернистых соединений, однако их внедрение требует установки дополнительных устройств для увеличения расхода и, зачастую, вызывает прирост потребления электроэнергии. Основной целью исследования стало выявление возможностей повышения экологической безопасности и оптимизации адсорбционно-абсорбционных систем для рекуперации летучих органических соединений из газовых смесей на работающих нефтетанкерных терминалах с учетом их современного технического состояния. Установлено, что предложенный узел очистки позволяет снизить потребление энергоресурсов за счет отсутствия дополнительных установок (газодувов) и увеличить эффективность работы адсорбционных фильтров на 15–25%. Эффективность методологии очистки низконапорного газа от сероводорода была подтверждена результатами лабораторных исследований с использованием реактора для сероочистки. Применение гомогенного катализатора для очистки газа обеспечивает превращение сероводорода в серу, а меркаптанов — в дисульфиды, при этом содержание остаточного сероводорода и меркаптанов снижается до менее 1 ppm. Также подтверждена эффективность рекуперации летучих органических соединений из газовых смесей нефтетанкерных судов с использованием хемосорбционно-адсорбционной химико-технологической системы.

**Ключевые слова:** нефть, рекуперация паров, абсорбционно-адсорбционная система, легкие органические соединения, жидкофазное окисление сероводорода.

## Engineering of an improved model of a chemisorption-adsorption chemical-technological system for the recovery of volatile organic compounds from a gas oil tanker mixture

Valery P. Meshalkin<sup>1</sup>[vpmeshalkin@gmail.com](mailto:vpmeshalkin@gmail.com) 0000-0000-9443-7847Evgenii A. Babakov<sup>1</sup>[babakhol@mail.ru](mailto:babakhol@mail.ru) 0000-0000-8484-3448<sup>1</sup> Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Miusskaya square, 9, 125047, Russia

**Abstract.** The article discusses the improvement of chemical and technological systems used for the recovery of oil vapors through chemisorption and adsorption processes, including a chemisorption unit. This unit, which consists of a disk-based chemo-absorber, is designed to remove harmful sulfur components from the gas mixture in oil tanker vessels. These components can negatively affect activated carbon filters and pollute the atmosphere. The relevance of this research lies in the fact that marine terminals emit significant amounts of light organic compounds and sulfur into the atmosphere during the process of filling oil tanks. The intense evaporation of oil during this process leads to air pollution and loss of valuable product. To solve this problem, we propose using chemical technology systems with a sulfur compound purification unit. However, their implementation requires additional equipment, which can increase consumption and often leads to an increase in electricity usage. The main goal of this study was to find ways to improve environmental safety and optimize adsorption and absorption systems for recovering volatile organic compounds from gas mixtures at oil tanker terminals. We took into account the current technical state of these terminals. We found that the proposed purification unit can reduce energy consumption by eliminating the need for additional installations such as gas blowers. It also increases the efficiency of adsorption filters by 15–25%. The effectiveness of low-pressure gas purification from hydrogen sulfide has been confirmed by laboratory studies using a desulfurization reactor. The use of a homogeneous catalyst for gas purification ensures the conversion of hydrogen sulfide into sulfur and mercaptans into disulfides, while reducing the content of residual hydrogen sulfide and mercaptan to less than 1 ppm. The efficiency of recovering volatile organic compounds from gas mixtures on oil tanker vessels has also been confirmed using a chemisorption-adsorption chemical technology system.

**Keywords:** oil, vapor recovery, absorption-adsorption system, light organic compounds, liquid-phase oxidation of hydrogen sulfide.

Для цитирования

Мешалкин В.П., Бабаков Е.А. Инжиниринг усовершенствованной модели хемосорбционно-адсорбционной химико-технологической системы рекуперации летучих органических соединений из газовой нефтетанкерной смеси // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 215–221. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-215-221

For citation

Meshalkin V.P., Babakov E.A. Engineering of an improved model of a chemisorption-adsorption chemical-technological system for the recovery of volatile organic compounds from a gas oil tanker mixture. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 215–221. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-215-221

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Нефть состоит из углеводородов, которые в основном представляют собой водород (около 13% по массе) и углерод (около 85%). Другие элементы, такие как азот (около 0,5%), сера (0,5%), кислород (1%) и металлы, такие как железо, никель и медь (менее 0,1%), также могут быть смешаны с углеводородами в небольших количествах. Преимущественно нефть состоит из алканов линейного и разветвленного строения, циклоалканов и ароматических углеводородов, а также сернистых соединений. Состав нефти зависит от её месторождения. В связи с увеличением спроса на нефть для использования в нефтеперерабатывающих производствах растет количество морских грузоперевозок данного продукта. Выбросы летучих органических и сернистых соединений при погрузке нефти в морские танкеры значительно загрязняют окружающую среду [1]. Летучие органические и сернистые соединения (далее ЛОСС) легко испаряются при нормальных условиях и состоят из смеси различных веществ, таких как алканы (например, метан, этан, пропан и т. д.), алкены, альдегиды, ароматические углеводороды и т. п., включая метан, который влияет на изменение климата [2].

## Материалы и методы

Действующие положения и правила по эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу жестко регулируют требования по эмиссии ЛОС

и систем контроля выброса паров. В 2005 году принята Директива 2005/35/ЕС о загрязнении источников с судов и наложении штрафов за нарушения. Его цель состояла в том, чтобы ужесточить существующие правила для предотвращения выброса загрязняющих веществ с судов. [3].

Все нефтеналивные суда, подлежащие контролю за выбросами паров VOC, должны быть оснащены системой сбора паров, которая получила одобрение Регистром в соответствии с «Стандартами для систем контроля выбросов паров» (смотрите циркуляр ИМО MCS/Circ.585) и соблюдает требования 9.9 части VII I «Системы и трубопроводы» Правил классификации и проектирования морских судов. На судах, перевозящих сырую нефть, обязательно наличие планов управления ЛОС, которые должны быть одобрены Регистром и разработаны согласно резолюции ИМО МЕРС. 185(59), а также циркулярам ИМО МЕРС.1/Circ.680 и МЕРС.1/Circ.719 [4].

При загрузке нефтяного танкера испарившиеся ЛОСС разбавляются в огромных количествах инертного газа, когда газовая смесь вытесняется притоком нефти во время погрузочных операций танкерных резервуаров морских судов. Концентрация легких органических и сернистых соединений в газовой смеси достигает максимума в конце загрузки. Типичный состав газовой нефтетанкерной смеси в момент полного заполнения нефтяного танкера представлен в таблице 1 [5].

Таблица 1.

Типичный состав газовой нефтетанкерной смеси в момент полного заполнения танкера

Table 1.

Typical composition of the gas oil tanker mixture at the moment of complete filling of the tanker

| Компоненты<br>Components                                                                                                           | Содержание<br>углеводородов, мг/м <sup>3</sup><br>Hydrocarbon<br>content, mg/m <sup>3</sup> | ПДК м/р,<br>мг/м <sup>3</sup><br>МРС м/р,<br>mg/m <sup>3</sup> | Порог чувствительности<br>по запаху, мг/м <sup>3</sup><br>Odor sensitivity<br>threshold, mg/m <sup>3</sup> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Метан   Methane                                                                                                                    | 7144,67                                                                                     | 200                                                            |                                                                                                            |
| Этан   Ethan                                                                                                                       | 8694,25                                                                                     | 200                                                            |                                                                                                            |
| Пропан   Propane                                                                                                                   | 74329,5                                                                                     | 200                                                            |                                                                                                            |
| Изобутан   Isobutane                                                                                                               | 124584                                                                                      | 15                                                             | 483                                                                                                        |
| н-Бутан   n-Butane                                                                                                                 | 174304                                                                                      | 200                                                            | 483                                                                                                        |
| H <sub>2</sub> S                                                                                                                   | 496,98                                                                                      | 0,008                                                          | 0,008                                                                                                      |
| Изоалканы > C <sub>5</sub> (Изопентан, 2-Метилпентан и др.)<br>Isoalkanes > C <sub>5</sub> (Isopentane, 2-Methyl pentane, etc.)    | 43457, 4                                                                                    | от 50                                                          | От 50                                                                                                      |
| Алканы > C <sub>5</sub> (н-Пентан, н-Гексан, Гептан, н-Октан)<br>Alkanes > C <sub>5</sub> (n-Pentane, n-Hexane, Heptane, n-Octane) | 17345,4                                                                                     | От 50                                                          | От 33                                                                                                      |
| Меркаптаны (Метилмеркаптан, Этилмеркаптаны)<br>Mercaptan (Methyl Mercaptan, Ethyl Mercaptan)                                       | 777,09                                                                                      | 0,006                                                          | 0,0001                                                                                                     |
| Циклоалканы (Метилциклопентан, Циклогексан, и др.)<br>Cycloalkanes (Methylcyclopentane, Cyclohexane, etc.)                         | 691                                                                                         | От 1,4                                                         | От 40                                                                                                      |
| Арены (Бензол, толуол)<br>Arenas (Benzene, Toluene)                                                                                | 82,41                                                                                       | От 0,3                                                         | От 30                                                                                                      |

Химико-технологические системы (далее – ХТС) рекуперации паров ЛОСС из газовой нефтетанкерной смеси ограничивают выбросы летучих загрязняющих веществ в атмосферу и возвращают ЛОС в жидкую фазу абсорбента. Для современных морских терминалов в основном

применяются традиционные адсорбционно-абсорбционные ХТС (рисунок 1). Данные установки рекуперации паров (далее УРП) размещаются в береговой зоне или в непосредственной близости от трубопроводов, проходящих по морскому причалу [6].

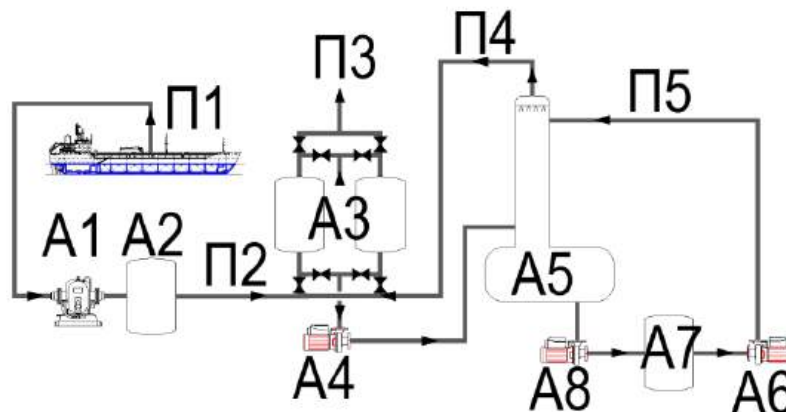


Рисунок 1. Схема традиционной адсорбционно-абсорбционной химико-технологической системы рекуперации легких органических соединений из газовой нефтетанкерной смеси: П1 – газовый поток от танкера; А1 – газодувочный аппарат; А2 – адсорбер с хемосорбентом; П2 – очищенная от сернистых соединений газовая смесь; А3 – адсорбционная колонна с активированным углем; П3 – очищенная газовая смесь; А4 – вакуумный насос; А5 – колонна-абсорбер; П4 – остаточная газовая смесь; А7 – береговой резервуар с абсорбентом; А6 – подающий насос; А8 – возвратный насос, П5 – подача абсорбента

Figure 1. Scheme of traditional adsorption-absorption chemical-technological system for recovery of light organic compounds from gas oil tanker mixture: П1 – gas flow from the tanker; А1 – gas blower; А2 – adsorber with chemisorbent; П2 – gas mixture purified from sulfur compounds; А3 – adsorption column with activated carbon; П3 – purified gas mixture; А4 – vacuum pump; А5 – absorber column; П4 – residual gas mixture; А7 – shore tank with absorbent; А6 – feed pump; А8 – return pump; П5 – supply of absorbent

Газовый поток П1 из грузового танка судна, в который осуществляется погрузка, подается газодувочным аппаратом А1 в адсорбер А2, заполненный хемосорбентом (железо, марганец, цинк и т. п.). Сернистые соединения газовой смеси П1 в адсорбционном аппарате А2 необратимо реагируют с сероводородом и частично с меркаптанами [7]. Очищенная от сернистых соединений газовая смесь П2 поступает на одну из адсорбирующих колонн А3, заполненных активированным углем, затем очищенная от углеводородов газовая смесь П3 поступает в атмосферу. После определенного количества времени работы фильтра А3 загрузка с активированным углем насыщается ЛОС. Поток П2 переключается на второй фильтр-адсорбер из пары А3, в то время как первый адсорбер регенерируется за счет создания в корпусе фильтра вакуума с помощью вакуумного насоса А4. С понижением давления процесс адсорбции реверсируется, и ЛОС покидают поверхность активированного угля и перемещаются при помощи вакуумного насоса А4 в колонну повторного поглощения А5, где они абсорбируются

во встречном потоке жидкого продукта П5 [8]. В качестве жидкого абсорбента используется складываемый или перегружаемый нефтепродукт. Остаточная газовая смесь П4 покидает адсорбционную колонну А5 через верх и перемещается обратно на вход адсорбционных аппаратов А3 [9]. Вместе с тем, метан практически не адсорбируется универсальными активированными углями. Этан слабо адсорбируется, но в процессе адсорбции вытесняется более тяжелыми компонентами, к которым активированный уголь имеет большую адсорбирующую способность [10].

### Обсуждение

Предлагается применить хемосорбционно-адсорбционную ХТС рекуперации УВ, отличающуюся тем, что применяется комбинированный хемосорбционный дисковый аппарат, не требующий применения дополнительного газодувочного аппарата [11]. Данный аппарат выполняет очистку от сернистых соединений на основе каталитической технологии очистки газа от  $H_2S$  и  $RSH$  в элементарную серу и дисульфиды [12], а также абсорбцию ЛОС (рисунок 2).

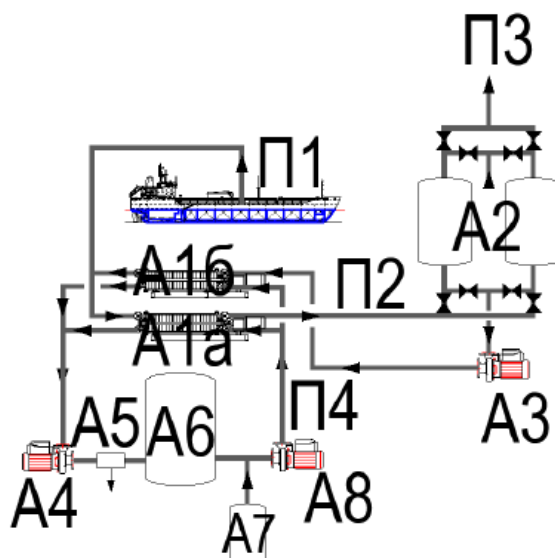


Рисунок 2. Усовершенствованная новая абсорбционно-адсорбционная химико-технологическая система рекуперации легких органических соединений из газовой нефтетанкерной смеси: П1 – газовый поток от танкера; А1 – хемосорбционный дисковый аппарат; П2 – очищенная от сернистых соединений газовая смесь; А2 – адсорбционная колонна с активированным углем; П3 – очищенная газовая смесь; А3 – вакуумный насос; А4 – возвратный насос; А5 – фильтр-пресс; А7 – резервуар с раствором катализатора; А8 – подающий насос; П4 – жидкая смесь абсорбента и раствора катализатора

Figure 2. Improved new absorption-adsorption chemical-technological system for recovery of light organic compounds from gas oil tanker mixture: П1 – gas flow from the tanker; А1 – chemisorption disk apparatus; П2 – gas mixture purified from sulfur compounds; А2 – adsorption column with activated carbon; П3 – purified gas mixture; А3 – vacuum pump; А4 – return pump; А5 – filter press; А7 – tank with catalyst solution; А8 – feed pump; П4 – liquid mixture of absorbent and catalyst solution

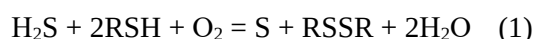
Низконапорный газовый поток П1 из грузового танка судна, в который осуществляется погрузка, поступает в дисковый хемосорбционный горизонтальный аппарат А1а. Сернистые соединения газовой смеси П1 в хемосорбционном аппарате А1а необратимо реагируют с раствором катализатора и окисляются с образованием серы и дисульфидов [13]. Для очистки от сероводорода и улавливания ЛОС в нижнюю часть цилиндра дискового аппарата А1а подается раствор абсорбента с катализатором П4, который образуется при дозировании концентрированного раствора катализатора из емкости А7 в поток абсорбента П4 [14], в противоположном направлении движется газовая смесь П1. Абсорбент после аппарата А1а, после окисления меркаптанов и сероводорода до дисульфидов и элементарной серы, содержащий средне- и мелкодисперсной серу поступает с помощью насоса А4 в фильтр-пресс А5. Серный осадок отводится фильтром-прессом А5 на потоке при циркуляции абсорбента. Абсорбент, насыщенный поглощенными углеводородами, возвращается в резервуар хранения А6. Очищенная от сернистых соединений газовая смесь П2 поступает на одну из адсорбирующих колонн А2,

заполненных активированным углем, затем очищенная от ЛОС газовая смесь П3 поступает в атмосферу. После определенного количества времени работы фильтра А2 загрузка с активированным углем насыщается ЛОС, Поток П2 переключается на второй фильтр-адсорбер из пары А3, в то время как первый адсорбер регенерируется за счет создания в корпусе фильтра вакуума с помощью вакуумного насоса А3. С понижением давления процесс адсорбции реверсируется, и ЛОС покидают поверхность активированного угля и перемещаются при помощи вакуумного насоса А3 в дисковый пленочный аппарат А1, где они абсорбируются во встречном потоке жидкого продукта П4 [15]. В качестве жидкого абсорбента используется складированный или перегружаемый нефтепродукт. Остаточная газовая смесь покидает дисковый пленочный аппарат А1б перемещается обратно на вход хемосорбционного дискового аппарата А1б [16].

В качестве жидкого абсорбента используется складированный или перегружаемый нефтепродукт. Для поглощения ЛОС применяется абсорбент, имеющийся в наличии в составе объекта.

## Результаты

Нами были проведены экспериментальные исследования сероочистки/демеркаптанзации низконапорного газа по реакции



проводили на лабораторной установке, включающей хемосорбционный лабораторный аппарат. В данный аппарат помещали раствор

катализатора в дизельном топливе. На вход реактора подавали сырье сероочистки, модельную смесь метана с сероводородом и метилмеркаптаном. Реакцию проводили по методике [17] при температуре 25 °С, атмосферном давлении.

Содержание сероводорода и меркаптанов на входе и выходе сероочистки приведено в таблице 2.

Таблица 2.

Остаточное содержание сероводорода и метилмеркаптана до/после очистки в присутствии гомогенного катализатора при температуре 25 °С и атмосферном давлении

Table 2.

Residual content of hydrogen sulfide and methyl mercaptan before/after purification in the presence of a homogeneous catalyst at a temperature of 25 °С and atmospheric pressure

| Опыт<br>Experiment | Объем раствора катализатора, мл<br>Volume catalyst solution, ml | Количество катализатора, мл*<br>Amount catalyst solution, ml | Скорость газа, л/мин<br>Gas velocity, l/min | H <sub>2</sub> S, ppm |                 | CH <sub>3</sub> SH, ppm |                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
|                    |                                                                 |                                                              |                                             | Вход<br>Inlet         | Выход<br>Output | Вход<br>Inlet           | Выход<br>Output |
| 1                  | 200                                                             | 0,1                                                          | 8,0                                         | 250                   | 6               | 250                     | 20              |
| 2                  | 200                                                             | 0,1                                                          | 7,0                                         | 250                   | 7               | 250                     | 20              |
| 3                  | 200                                                             | 0,3                                                          | 6,0                                         | 250                   | 7               | 250                     | 20              |
| 4                  | 200                                                             | 0,3                                                          | 5,0                                         | 250                   | 5               | 250                     | 20              |
| 5                  | 200                                                             | 0,5                                                          | 5,0                                         | 250                   | 0*              | 250                     | 0*              |

Как видно из данных таблицы, каталитическая сероочистка [18] может обеспечить конверсию сероводорода в серу, меркаптанов в дисульфиды, остаточное содержание серосодержащих экотоксикантов при этом может быть снижено до требуемых показателей.

## Заключение

Можно сделать вывод, что применение адсорбционно-абсорбционных ХТС рекуперации УВ из нефтетанкерных газов требует дополнительного оборудования (газодувка, фильтр перед газодувкой и т. п.) [18]. Нами предложена модернизация ХТС за счет применения ресурсоэффективной хемосорбционно-адсорбционной схемы, а именно:

1) Модернизация ХТС за счет применения хемосорбционно-адсорбционной схемы, оснащённой дисковым хемоаппаратом с применением

каталитического окисления сероводорода и меркаптанов в элементарную серу и дисульфиды, которая позволяет удалять из нефтетанкерных газов экологически опасные сернистые компоненты без повышения температуры и значительного перепада давления газозвоздушной смеси [19];

2) При использовании дискового хемоаппарата следует ожидать уменьшение расхода энергоресурсов за счет отсутствия газодувки, а также уменьшение ресурсоемкости адсорбционных фильтров, наполненных активированным углем, за счет предварительной абсорбции ЛОС из нефтетанкерных газов [20].

Данные результаты могут быть использованы при проектировании хемосорбционно-адсорбционных ХТС рекуперации ЛОС из нефтетанкерных газов.

## Литература

- 1 Свецкий А.В. Правовая охрана морской среды при транспортировке нефти и нефтепродуктов: международно-правовые аспекты // Международное право и международные организации. 2022. № 4. С. 22–33. doi: 10.7256/2454–0633.2022.4.39139
- 2 Meshalkin V.P., Dovi V.G., Bobkov V.I., Belyakov A.V. et al. State of the art and research development prospects of energy and resource-efficient environmentally safe chemical process systems engineering // Mendeleev Communications. 2021. №. 31. P. 593–604. doi: 10.1016/j.mencom.2021.09.003
- 3 Rajabi H., Mosleh M.H., Mandal P., Lea-Langton A. Emissions of volatile organic compounds from crude oil processing. Global emission inventory and environmental release. Science of The Total Environment. 2020. V. 727. P. 132–139.
- 4 Guilin H., James B., Jennifer L., Qianpu W. et al. Simulation of cargo VOC emissions from petroleum tankers in transit in Canadian waters // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. 2020. № 14. P. 522–533. doi: 10.1080/19942060.2020.1728386

- 7 Темердашев А.З., Афонин А.С., Корпакова И.Г. Хромато-масс-спектрометрическая идентификация и компонентного состава выбросов углеводородов при перегрузке товарных нефтепродуктов // Аналитика и контроль. 2018. Т. 72. № 1. С. 999–1006. doi:10.15826/analitika.2018.22.1.008
- 8 Пшенин В.В., Закирова Г.С. Повышение эффективности систем улавливания паров нефти при товарно-транспортных операциях на нефтеналивных терминалах // Записки Горного института. 2024. Т. 265. С. 121–128. doi: 10.31897/PMI.2023.29
- 9 João S., Ana L., Caetano M., Acto C., et al. Simulation and scale-up of the desulphurization of gas streams by adsorption method using numerical simulation. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2020. V. 84. P. 103693. doi: 10.1016/j.jngse.2020.103693
- 10 Begmanova G.E., Dauletbayeva R.K., Atazhanova Z.S. Analysis of Modern Methods of Gas Cleaning From Hydrogen Sulfide // *American Journal of Social and Humanitarian Research*. 2022. V. 3. №. 5. P. 208–212. doi: 10.31150/ajshr.v3i5.1098
- 11 Guilin H., Butler J., Littlejohns J., Qianpu W. et al. Simulation of VOC Emission During Loading Operations in a Crude Oil Tanker. *International Journal of Maritime Engineering*. 2021. V. 163. P. 1–16. doi: 10.5750/ijme.v163iA1.1
- 12 Xu H., Xiao-tong X., Xiafan X., Jia G. et al. Development of a volatile organic compounds cryogenic condensation recovery system cooled by liquid nitrogen. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2022. P. 1240. doi: 10.1088/1757-899X/1240/1/012098
- 13 Pshenin, V.V., Zakirova G.S., Antonov A.A., Skorobogatov A.A. Determination of the total volume of the displaced gas-air mixture per one operation of tanker loading. *Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2022. №. 5(139). P. 122–128. doi:10.17122/ntj-oil-2022-5-122-128
- 14 Pshenin V.V. Determining diameter of gas phase venting pipeline at marine oil-loading terminals. *Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation*. 2024. V. 14(2). P.120–127. doi:10.28999/2541-9595-2024-14-2-120-127
- 15 Коршак А.А., Николаева А.В., Нагаткина А.С., Гайсин М.Т. и др. Методика прогнозирования степени улавливания паров углеводородов при абсорбции // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2020. Т.10 № 2. С. 202–209. doi: 10.28999/2541-9595-2020-10-2-202-209
- 16 Georgiadis A.G., Charisiou N.D., Goula M.A. Removal of Hydrogen Sulfide From Various Industrial Gases: A Review of The Most Promising Adsorbing Materials. *Catalysts*. 2020. V.10(5). P. 1–36. doi:10.3390/catal10050521
- 17 Choi Y.Y., Seok-Hee L., Jae-Cheul P., Doo J.C. et al. The impact of corrosion on marine vapour recovery systems by VOC generated from ships. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 2018. V. 11. P. 52-58. doi: 10.1016/j.ijnaoe.2018.01.002
- 18 Fetisov V.G., Mohammadi A.H., Pshenin V.V., Kupavykh K.S. et al. Improving the economic efficiency of vapor recovery units at hydrocarbon loading terminals. *Oil & Gas Science and Technology – Revue d'IFP Energies nouvelles*. 2021. № 76. P. 1–9. doi: 10.2516/ogst/2021022
- 19 Пат. № 2768952, RU, B01D3/08, Тепломассообменный аппарат // Тюрин А.А., Бабаков Е.А. № 2021100746 Заявл. 14.01.2021 г. Оpubл. 25.03.2022
- 20 Коршак А.А., Коршак А.А., Захарченко А.В. Оценка области применения установок рекуперации паров нефтепродуктов по зарубежным данным // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Т. 13, № 3. С. 252–260.
- 21 Коршак А.А., Гайсин М.Т. Методология выбора оптимального режима работы адсорберов при улавливании паров нефти и нефтепродуктов // Нефтяное хозяйство. 2022. № 8. С. 140–143. doi: 10.24887/0028-2448-2022-8-140-143
- 22 Коршак А.А., Выходцева Н.А., Гайсин М.Т. Влияние эксплуатационных факторов на работу адсорбционных установок рекуперации паров нефти // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Т. 9, № 5. С. 550–557. doi: 10.28999/2541-9595-2019-9-5-550-557

## References

- 1 Savitsky A.V. Legal protection of the marine environment during transportation of oil and oil products: international legal aspects // *International law and international organizations*. 2022. no. 4. pp. 22–33. doi: 10.7256/2454-0633.2022.4.39139
- 2 Meshalkin V.P., Dovi V.G., Bobkov V.I., Belyakov A.V. et al. State of the art and research development prospects of energy and resource-efficient environmentally safe chemical process systems engineering // *Mendelev Communications*. 2021. no. 31. pp. 593–604. doi: 10.1016/j.mencom.2021.09.003 (in Russian).
- 4 Rajabi H., Mosleh M.H., Mandal P., Lea-Langton A. Emissions of volatile organic compounds from crude oil processing – Global emission inventory and environmental release. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 727. pp. 132–139.
- 5 Guilin H., James B., Jennifer L., Qianpu W. et al. Simulation of cargo VOC emissions from petroleum tankers in transit in Canadian waters // *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. 2020. no. 14. pp. 522–533. doi: 10.1080/19942060.2020.1728386
- 6 Temerdashev A.Z., Afonin A.S., Korpakova I.G. Chromatographic-mass spectrometric study of the emissions composition during the petroleum products loading // *Analytics and control*. 2018. Vol. 72, no. 1. pp. 999–1006. doi: 10.15826/analitika.2018.22.1.008 (in Russian).
- 7 Pshenin V.V., Zakirova G.S. Improving the efficiency of oil vapor recovery units in the commodity transport operations at oil terminals // *Zapiski Gornogo Instituta*. 2024. Vol. 265. pp. 121–128. doi: 10.31897/PMI.2023.29 (in Russian).
- 8 João S., Ana L., Caetano M., Acto C. et al. Simulation and scale-up of the desulphurization of gas streams by adsorption method using numerical simulation. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2020. Vol. 84. doi: 10.1016/j.jngse.2020.103693

- 9 Begmanova G.E., Dauletbayeva R.K., Atazhanova Z.S. Analysis of Modern Methods of Gas Cleaning From Hydrogen Sulfide // American Journal of Social and Humanitarian Research. 2022. Vol. 3. no. 5. pp. 208–212. doi: <https://doi.org/10.31150/ajshr.v3i5.1098>
- 10 Guilin H., Butler J., Littlejohns J., Qianpu W. et al. Simulation of VOC Emission During Loading Operations in a Crude Oil Tanker. International Journal of Maritime Engineering. 2021. Vol. 163. pp. 1–16. doi: [10.1080/19942060.2020.1728386](https://doi.org/10.1080/19942060.2020.1728386)
- 11 Xu H., Xiao-tong X., Xiafan X., Jia G. et al. Development of a volatile organic compounds cryogenic condensation recovery system cooled by liquid nitrogen. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering . 2022. pp. 1240. doi: [10.1088/1757-899X/1240/1/012098](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1240/1/012098)
- 12 Pshenin, V.V., Zakirova G.S., Antonov A.A., Skorobogatov A.A. Determination of the total volume of the displaced gas-air mixture per one operation of tanker loading. Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2022. no. 5. pp. 122–128. doi: [10.17122/ntj-oil-2022-5-122-128](https://doi.org/10.17122/ntj-oil-2022-5-122-128)
- 13 Pshenin V.V. Determining diameter of gas phase venting pipeline at marine oil-loading terminals. Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation. 2024. Vol. 14. pp. 120–127. doi: [10.28999/2541-9595-2024-14-2-120-127](https://doi.org/10.28999/2541-9595-2024-14-2-120-127).
- 14 Korshak A.A., Nikolaeva A.V., Nagatkina A.S., Gaisin M.T. et al. Method for predicting the degree of hydrocarbon vapor recovery at absorption // Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation. 2020. Vol.10 no. 2. pp. 202–209. doi: [10.28999/2541-9595-2020-10-2-202-209](https://doi.org/10.28999/2541-9595-2020-10-2-202-209) (in Russian).
- 15 Georgiadis A.G., Charisiou N.D., Goula M.A. Removal of Hydrogen Sulfide From Various Industrial Gases: A Review of The Most Promising Adsorbing Materials. Catalysts. 2020. Vol. 10. pp. 1–36. doi: [10.3390/catal10050521](https://doi.org/10.3390/catal10050521)
- 16 Choi Y.Y., Seok-Hee L., Jae-Cheul P., Doo J.C. et al. The impact of corrosion on marine vapour recovery systems by VOC generated from ships. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. 2018. Vol. 11(1) doi: [10.1016/j.ijnaoe.2018.01.002](https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2018.01.002)
- 17 Fetisov V.G., Mohammadi A.H., Pshenin V.V., Kupavykh K.S., Artyukh D.E. Improving the economic efficiency of vapor recovery units at hydrocarbon loading terminals. Oil & Gas Science and Technology – Revue d'IFP Energies nouvelles. 2021. no. 76. pp. 1–9. doi: [10.2516/ogst/2021022](https://doi.org/10.2516/ogst/2021022)
- 18 Tyurin A.A., Babakov E.A. Heat and mass transfer apparatus // Patent RF, no. 276895, 2022. (in Russian).
- 19 Korshak A.A., Zakharchenko A.V. Assessment of scope of application of oil products vapor recovery units according to foreign data // Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation. 2023. Vol. 13, no. 3. pp. 252–260. (in Russian).
- 20 Korshak A.A., Gaisin M.T. Methodology for selecting the optimal operating mode of adsorbers for capturing oil and oil product vapors // Oil Industry. 2022. no. 8. pp. 140–143. doi: [10.24887/0028-2448-2022-8-140-143](https://doi.org/10.24887/0028-2448-2022-8-140-143) (in Russian).
- 21 Korshak A.A., Vyhodtseva N.A., Gaisin M.T. Influence of operating factors on the performance of oil vapor recovery adsorption plants // Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation. 2019. Vol. 9. no. 5. pp. 550–557. doi: [10.28999/2541-9595-2019-9-5-550-557](https://doi.org/10.28999/2541-9595-2019-9-5-550-557) (in Russian).

**Сведения об авторах**

**Валерий П. Мешалкин** д.т.н., академик РАН, кафедра логистики и экономической информатики, Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва А-47, Миусская площадь, 9, 125047, Россия, [vpmeshalkin@gmail.com](mailto:vpmeshalkin@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0000-9443-7847>

**Евгений А. Бабаков** соискатель, кафедра логистики и экономической информатики, Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва А-47, Миусская площадь, 9, 125047, Россия, [babakhol@mail.ru](mailto:babakhol@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0000-8484-3448>

**Вклад авторов**

консультация в ходе исследования

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about authors**

**Valery P. Meshalkin** Doctor of Technical Sciences., Academician of the RAS, professor, the department of logistics and economic informatics of Russia, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Miusskaya square, 9, 125047, Russia, [vpmeshalkin@gmail.com](mailto:vpmeshalkin@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0000-9443-7847>

**Evgenii A. Babakov** postgraduate, department of logistics and economic informatics, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Miusskaya square, 9, [babakhol@mail.ru](mailto:babakhol@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0000-8484-3448>

**Contribution**

consultation during the study

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 29/10/2024 | После редакции 14/11/2024      | Принята в печать 28/11/2024 |
| Received 29/10/2024  | Accepted in revised 14/11/2024 | Accepted 28/11/2024         |

## Применение нейронных сетей при создании аппаратурных схем мембранных установок

|                                 |                                                                      |                                                                                                         |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Борис А. Лобасенко <sup>1</sup> | <a href="mailto:lobasenko@mail.ru">lobasenko@mail.ru</a>             |  0000-0003-0245-7904 |
| Антон В. Шафрай <sup>1</sup>    | <a href="mailto:shafraia@mail.ru">shafraia@mail.ru</a>               |  0000-0003-4512-1933 |
| Андрей Г. Семенов <sup>1</sup>  | <a href="mailto:agsem55@ya.ru">agsem55@ya.ru</a>                     |  0000-0002-3136-3942 |
| Павел А. Галязимов <sup>1</sup> | <a href="mailto:galiyazimov33@gmail.com">galiyazimov33@gmail.com</a> |  0009-0004-5590-1946 |

<sup>1</sup> Кемеровский государственный университет, ул. Красная, д. 6, Кемерово, 650043, Россия

**Аннотация.** Рассматривается схема и принцип работы мембранного аппарата, характеризующегося отделением поляризационного слоя. Аппараты этого типа, помимо удаления пермеата, производят раздельный вывод концентрированного поляризационного слоя, образующегося на мембране и ядра потока, имеющего меньшую концентрацию, из центральной части аппарата. Анализ аппаратурной схемы установки с параллельным расположением подобных аппаратов показывает ее недостаточную эффективность и низкую производительность. Основной целью проектирования новых установок является интенсификация процесса разделения низкомолекулярных и высокомолекулярных компонентов смеси. Для этого целесообразно не смешивать потоки, имеющие различную концентрацию. С целью определения оптимальной конфигурации мембранной установки для выполнения вышеизложенных условий была использована математическая модель, разработанная на основе искусственных нейронных сетей. Нейронные сети были разработаны в интерактивной среде разработки Google Colaboratory на языке программирования Python во фреймворке PyTorch. В результате этого были смоделированы две сети, одна из которых предсказывала содержание сухих веществ в концентрате, а другая содержание сухих веществ в обедненном потоке. Для подтверждения результатов разработанной математической модели была предложена программа расчета концентраций получаемых компонентов с использованием материального баланса. Результаты, полученные на основе модели, применены при создании аппаратурной схемы установки. Предлагается алгоритм, блок-схема и программа расчета продолжительности работы мембранной установки и количества мембранных аппаратов, необходимых для получения требуемой концентрации конечного продукта. На программу расчета получено свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ. Описан интерфейс программы.

**Ключевые слова:** искусственная нейронная сеть, установка мембранного концентрирования, поляризационный слой, аппаратурная схема.

## Application of neural networks in creating hardware schemes of membrane plants

|                                  |                                                                      |                                                                                                           |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Boris A. Lobasenko <sup>1</sup>  | <a href="mailto:lobasenko@mail.ru">lobasenko@mail.ru</a>             |  0000-0003-0245-7904 |
| Anton V. Shafrai <sup>1</sup>    | <a href="mailto:shafraia@mail.ru">shafraia@mail.ru</a>               |  0000-0003-4512-1933 |
| Andrey G. Semenov <sup>1</sup>   | <a href="mailto:agsem55@ya.ru">agsem55@ya.ru</a>                     |  0000-0002-3136-3942 |
| Pavel A. Galyazimov <sup>1</sup> | <a href="mailto:galiyazimov33@gmail.com">galiyazimov33@gmail.com</a> |  0009-0004-5590-1946 |

<sup>1</sup> Kemerovo State University, Krasnaya st., 6, Kemerovo, 650043, Russia

**Abstract.** The scheme and operating principle of a membrane unit characterized by separation of polarization layer are considered. Units of this type, in addition to permeate removal, realize separate extraction of the concentrated polarization layer formed on the membrane, and flux core with a lower concentration from the central part of the unit. Analysis of the hardware scheme of the plant with a parallel arrangement of such units shows its insufficient efficiency and low productivity. The main purpose of designing new plants is to intensify the process of separating low-molecular and high-molecular components of the mixture. For this purpose, it is advisable not to mix flows with different concentrations. In order to determine the optimal configuration of the membrane plant to meet the above conditions, a mathematical model developed on the basis of an artificial neural network was used. The neural networks were developed in the interactive development environment Google Colaboratory in the Python programming language with the use of the PyTorch framework. As a result, two networks were modeled, one of which predicted the dry matter content of the concentrate, and the other predicted the dry matter content of the lean stream. To confirm the results of the developed mathematical model, a program for calculating the concentrations of the components obtained using the material balance was proposed. The results obtained on the basis of the model were used to create the hardware scheme of the plant. An algorithm, a block diagram and a program for calculating the operating time of a membrane plant and the necessary number of membrane units for obtaining a required concentration of the final product are proposed. A certificate of state registration of the computer program has been received for the calculation program. The program interface is described.

**Keywords:** artificial neural network, membrane concentrating plant, polarization layer, hardware scheme.

Для цитирования

Лобасенко Б.А., Шафрай А.В., Семенов А.Г., Галязимов П.А. Применение нейронных сетей при создании аппаратурных схем мембранных установок // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 222–229. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-222-229

For citation

Lobasenko B.A., Shafrai A.V., Semenov A.G., Galyazimov P.A. Application of neural networks in creating hardware schemes of membrane plants. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 222–229. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-222-229

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

По прогнозам научно-технологического развития России в биотехнологии до 2030 планируется получение белковых продуктов из побочных продуктов переработки растительного и животного сырья, а также создание белковых продуктов с улучшенными свойствами. Особое внимание при этом уделяется использованию мембранных методов [1–3]. Это вполне обоснованно, так как разделение высокомолекулярных веществ (ВМС) и низкомолекулярных компонентов раствора происходит на молекулярном уровне и позволяет в результате переработки целенаправленно синтезировать продукты с заданными свойствами. При этом мембранные методы за счет щадящих условий переработки позволяют перерабатывать лабильные продукты с сохранением высокого качества за счет их малой инактивации. Уменьшение продолжительности переработки (увеличение производительности) также способствует сохранению качества и сокращению энергозатрат. Одним из направлений повышения производительности является использование мембранных аппаратов с отводом поляризационного слоя и установок на их основе [2]. В частности, в одной из них предусматривается наличие двух контуров с емкостями, по которым циркулируют растворы с меньшей и большей концентрацией. В процессе работы используется раствор из емкости с более высокой концентрацией раствора. Это позволяет уменьшить продолжительность получения готового продукта. Недостатком данной схемы является взаимодействие различных по концентрации потоков, что приводит к более длительному времени переработки, т. е. к снижению производительности. В этой связи важной задачей является разработка мембранных установок, отличающихся более высокой производительностью. Для создания оптимальной конфигурации мембранных установок, отвечающих данным требованиям, целесообразно использовать математические методы и, в частности, нейронные сети. Искусственные нейронные сети являются одним из направлений машинного обучения и одной из технологий создания искусственного интеллекта [4–10]. Они отличаются тем, что могут моделировать нелинейные зависимости высокой сложности и с большой точностью решать задачи классификации, регрессии, кластеризации и т. п. В последние годы они все чаще применяются при решении задач пищевой инженерии [11–15] и мембранных технологий [16–20].

## Материалы и методы

При комплектации установки использовали мембранный аппарат с отводом поляризационного слоя, схема которого представлена на рисунок 1. Предлагаемый аппарат состоит из трех секций длиной 0,2 метра с отводящими

устройствами для поляризационного слоя (концентрата). Количество отводимого слоя находится в пределах 1/20–1/40 расхода потока через аппарат. Секция состоит из семи одноканальных ультрафильтрационных керамических мембран типа КУФЭ-1, с внутренним диаметром канала 6 мм и размером пор 0,01 мкм, расположенных в общем кожухе. Более подробное описание конструкции представлено в [2]. Из каждой секции аппарата производится отдельный отвод поляризационного слоя (концентрата), обедненного потока (ретентата) и пермеата [3]. Пермеат практически не содержит ВМС и далее не используется, тогда как ретентат может подвергаться дальнейшей переработке для более полного извлечения ВМС. Рекомендуемое значение потока, подаваемого в мембранный аппарат такой конструкции, должно соответствовать скорости движения среды в канале аппарата не более 0,5 м/с [2].

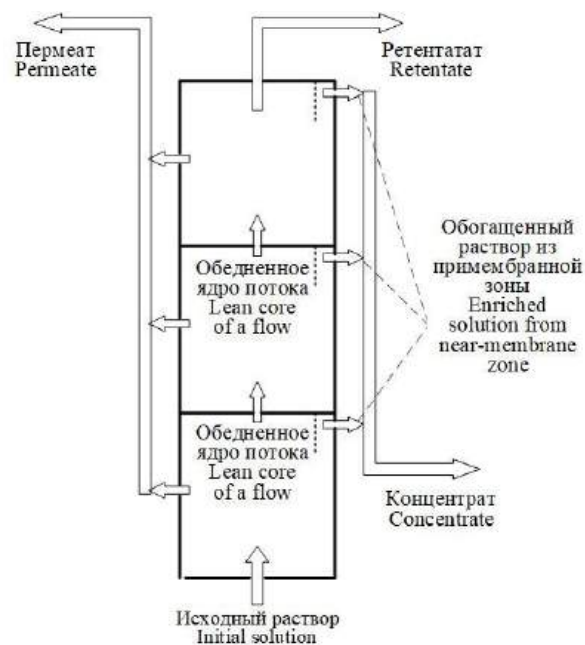


Рисунок 1. Схема мембранного аппарата с отводом поляризационного слоя

Figure 1. The scheme of a membrane unit with the separation of the polarization layer

Основным принципом, положенным в основу проектирования установки, является интенсификация процесса разделения ВМС и низкомолекулярных компонентов. Для выполнения этого условия целесообразно не смешивать потоки, имеющие различную концентрацию. Возможность организации процесса может быть различной. С целью определения оптимальной конфигурации мембранной установки для выполнения вышеизложенных условий, были использованы математические модели, разработанные с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС являются математическими аналогами биологических нейронов головного мозга человека. В большинстве случаев они

решают задачи регрессии, классификации и кластеризации. В данном исследовании ИНС использовались для решения задачи регрессии, а именно, для предсказания содержания ВМС в концентрате и ретентате по содержанию сухих веществ в исходном растворе.

Нейронные сети были разработаны в интерактивной среде разработки Google Colaboratory (<https://colab.research.google.com>) на языке программирования Python во фреймворке PyTorch (<https://pytorch.org/>). Математические модели на основе ИНС должны обучаться на основе данных. Такие подборки данных называют датасетами. Датасет для данного исследования был получен на основе проведенных экспериментов. Он содержал 51 запись, основанных на проведенных экспериментах. Входной величиной было содержание ВМС в исходном растворе, а выходными величинами – их содержание в концентрате и ретентате.

Первоначально была предпринята попытка создать одну сеть, которая предсказывала бы сразу обе величины, однако для такой сети не удалось добиться высокой точности. Поэтому разработали две отдельных ИНС. Одна предсказывала содержание ВМС в концентрате (ИНС1), другая – содержание ВМС в ретентате (ИНС2). Характеристики обеих сетей приведены в таблице 1.

Таблица 1.  
Параметры нейронных сетей  
Table 1.

Network parameters

| Параметр   Parameter                                                    | ИНС1   ANN1 | ИНС2   ANN2 |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
| Количество скрытых слоев<br>Number of hidden layers                     | 5           | 4           |
| Количество нейронов в скрытом слое<br>Number of neurons in hidden layer | 15          | 10          |
| Функция активации<br>Activation function                                | Tanh        | Tanh        |
| Алгоритм оптимизации<br>Optimization algorithm                          | Adam        | Adam        |
| Шаг оптимизации<br>Optimization step                                    | 0.01        | 0.01        |
| Количество эпох обучения<br>Number of training epochs                   | 90          | 80          |

При обучении обеих сетей датасет был разделен на обучающую и тестовую часть в пропорции 7:3. Далее сети обучались раздельно. Для каждой сети была подобрана оптимальная архитектура и наилучшие гиперпараметры. В качестве критерия точности выбрана относительная погрешность.

Наивысшую точность ИНС1 получила при наличии 5 скрытых слоев, содержащих по 15 нейронов каждый, при одном входном и одном выходном нейроне. В качестве функции активации использовалась функция гиперболического тангенса, график которой приведен на рисунок 2.

В качестве оптимизатора градиентного спуска применен алгоритм Adaptive Moment Estimation (Adam), который является оптимальным

в большинстве случаев. Длина шага градиентного спуска при этом составила 0.01. Наилучшее сходжение ИНС1 получила после 90 эпох. Средняя относительная погрешность составила 2,32 % (рисунок 3).

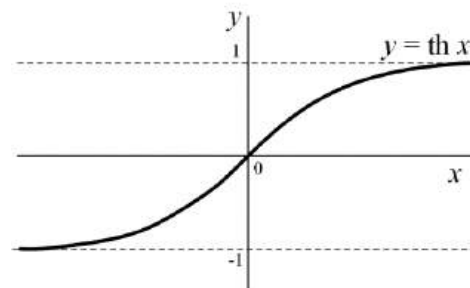


Рисунок 2. Функция активации (гиперболический тангенс)

Figure 2. Activation function (hyperbolic tangent)

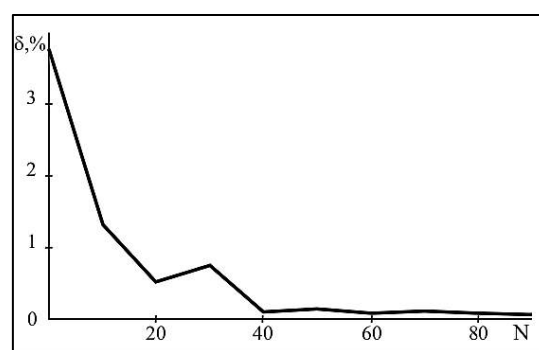


Рисунок 3. Обучение ИНС1.  $\delta$  – средняя относительная ошибка, N – номер эпохи

Figure 3. Learning of the artificial neural network 1.  $\delta$  – mean relative error, N – epoch number

Архитектура ИНС2 составила 4 скрытых слоя, по 10 нейронов в каждом. Использовалась та же функция активации что и для ИНС1 (гиперболический тангенс). В качестве оптимизатора также использовался Adam, с шагом 0.01. Обучение сети продолжалось 80 эпох, а ошибка опустилась до 2,27 % (рисунок 4).

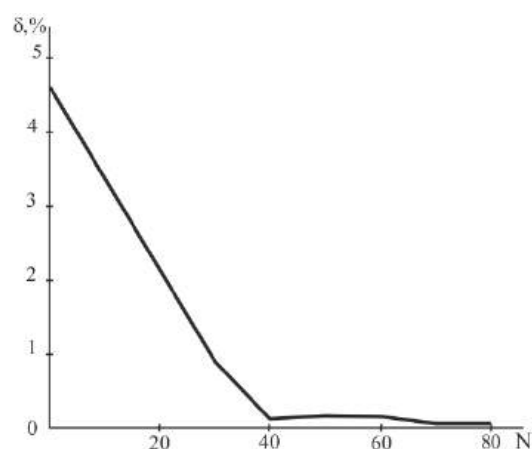


Рисунок 4. Обучение ИНС2.  $\delta$  – средняя относительная ошибка, N – номер эпохи

Figure 4. Learning of the artificial neural network 2.  $\delta$  – mean relative error, N – epoch number

По результатам анализа полученных данных была предложена аппаратная схема мембранной установки, которая представлена

на рисунок 5. В состав установки входят мембранные блоки, которые включают собственно мембранные аппараты и ёмкости.

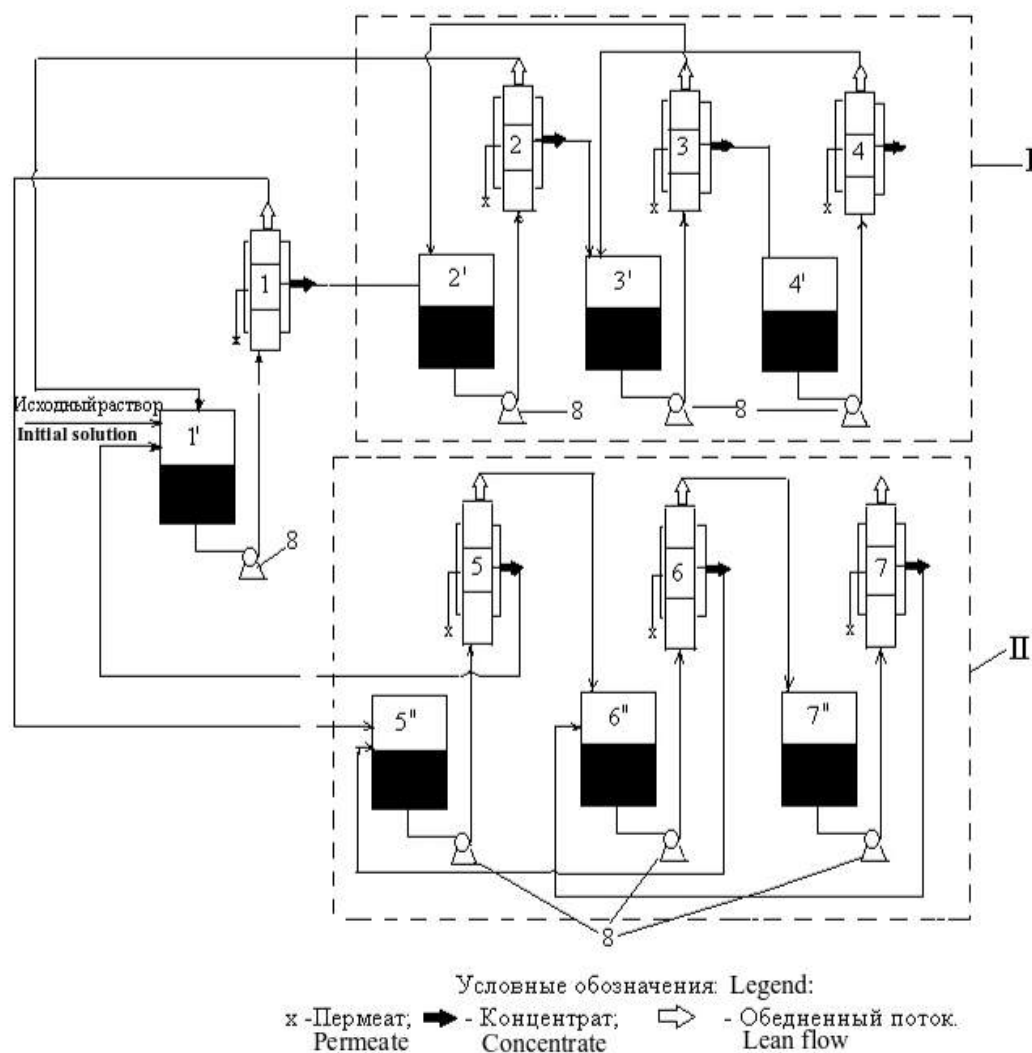


Рисунок 4. Схема мембранной установки, состоящей из аппаратов с отводом поляризационного слоя: 1, 1' – мембранный аппарат и емкость для исходного раствора; 2, 3, 4, 5, 6, 7 – мембранные аппараты; 2', 3', 4', 5'', 6'', 7'' – емкости; 8 – насосы; I – линия увеличения концентрации ВМС; II – линия уменьшения концентрации ВМС

Figure 4. Scheme of membrane system consisting of devices with polarization layer removal: 1, 1' – membrane unit and tank for initial solution; 2, 3, 4, 5, 6, 7 – membrane units; 2', 3', 4', 5', 6', 7' – tanks; 8 – pumps; I – line of high-molecular compound (HMC) concentration increasing; II – line of HMC concentration decreasing

Вначале ёмкость 1' заполняют исходным раствором (в качестве обрабатываемого раствора использовалась молочная сыворотка). Из ёмкости 1' раствор подают в мембранный аппарат 1, где образуется пермеат, ретентат (обедненный поток) и концентрат (поляризационный слой). Пермеат выводится из системы. Так как содержание задерживаемых веществ в ретентате и концентрате различно, их целесообразно разделить. Концентрат подают в линию увеличения концентрации ВМС (I), которая включает аппараты 2, 3, 4 и ёмкости 2', 3', 4',

а ретентат направляют в линию снижения концентрации ВМС (II), состоящую из аппаратов 5, 6, 7 и емкостей 5", 6", 7". Назначением линии I является увеличение концентрации ВМС на каждом аппарате за счет использования поляризационного слоя предыдущего аппарата и отвода обедненного потока, а назначением линии II – увеличение содержания низкомолекулярных веществ в потоке за счет удаления ВМС. В процессе переработки происходит перераспределение концентрации потоков между мембранными аппаратами. Его необходимо

отслеживать с помощью приборного оснащения с тем, чтобы значения концентраций смешивающихся потоков, которые направляются в соответствующие емкости, отличались бы не более чем на  $\pm 0,1\%$  массового содержания ВМС. Кроме того, необходимо следить, чтобы количество раствора, находящегося в емкости 1', в любой момент было бы достаточным для обеспечения непрерывной работы установки.

### Результаты и обсуждение

Для подтверждения эффективности разработанной математической модели была предложена программа расчета концентраций получаемых компонентов с использованием материального баланса. Интерфейс программы расчета представлен на рисунок 6. Программа написана на языке Visual Basic Scripting [https://learn.microsoft.com/].

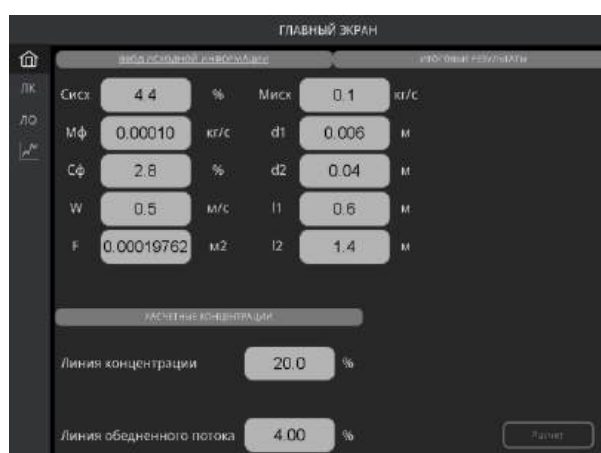


Рисунок 5. Интерфейс программы

Figure 5. Program interface

Расчет производится по алгоритму, представленному схемой, изображенной на рисунок 7.

Расчет начинается с ввода исходной информации (поз. 2). При этом задаются: исходное количество перерабатываемой среды  $M_{исх}$ , концентрация ВМС в ней  $C_{исх}$ , проницаемость  $G$ , количество пермеата  $M_p$  и его концентрация  $C_p$ , площадь проходного сечения мембранного аппарата.

По заданным значениям  $M_{исх}$ ,  $C_{исх}$ , а также  $M_p$ ,  $C_p$ , и учитывая количество отводимого поляризационного слоя, рекомендуемое значение которого находится в пределах  $1/20$ – $1/40$  от количества исходного раствора, из материального баланса определяют количество концентрата (поляризационного слоя)  $M_k$ , количество обедненного потока  $M_{об}$  и пермеата  $M_p$ , получаемого на каждой из трех секций отдельного мембранного аппарата (поз. 3).

Определяют значения концентраций концентрата и ретентата. Поток концентрата (концентрация которого превышает исходную) передается в блок расчета линии увеличения концентрации (поз. 5), поток ретентата – в блок расчета линии уменьшения концентрации (поз. 10).

Так как количество получаемого концентрата любого блока недостаточно для обеспечения соответствующих гидродинамических условий работы следующего блока (необходимой скорости движения раствора в аппарате) (поз. 5), раствор накапливается в течение некоторого времени в следующей емкости до накопления необходимого количества. Если в емкость подаются различные потоки, необходимо предусмотреть, чтобы их концентрации были близки и не отличались более, чем на  $0,1\%$ . Предусмотрена возможность передачи в емкость концентрата из линии уменьшения концентрации, если его концентрация соответствует накапливаемому потоку, т. е. отличается не более, чем на  $0,1\%$  (поз. 12). Также предусмотрена возможность обратной передачи части ретентата из линии увеличения концентрации в линию ее уменьшения. Определяются средняя концентрация получаемого концентрата (поз. 7) и продолжительность переработки с учетом времени накопления раствора в емкостях (поз. 8). Процесс проводится до получения заданной концентрации продукта  $C_{к(3)}$  (поз. 9).

Для определения количества и концентрации ретентата также используются уравнения материального баланса. Количество ретентата на входе каждой из секций аппарата будет уменьшаться на величину отводимых пермеата и концентрата. Так как этого количества может оказаться недостаточно для создания соответствующих гидродинамических условий работы в следующем аппарате, ретентат накапливают до необходимого количества в емкости следующего мембранного аппарата (поз. 10). Определяют продолжительность цикла переработки с учетом времени накопления. Переработка ретентата продолжается до получения заданной минимальной концентрации (поз. 14).

Основным условием переработки раствора с использованием этого алгоритма является использование близких по концентрации потоков. Соблюдение этого условия позволит добиться разделения (концентрирования) вещества за меньший промежуток времени, что является предпосылкой для интенсификации производства и создания малоотходных и безотходных технологий. Интерфейс программы с отображением результатов расчета представлен на рисунке 8.

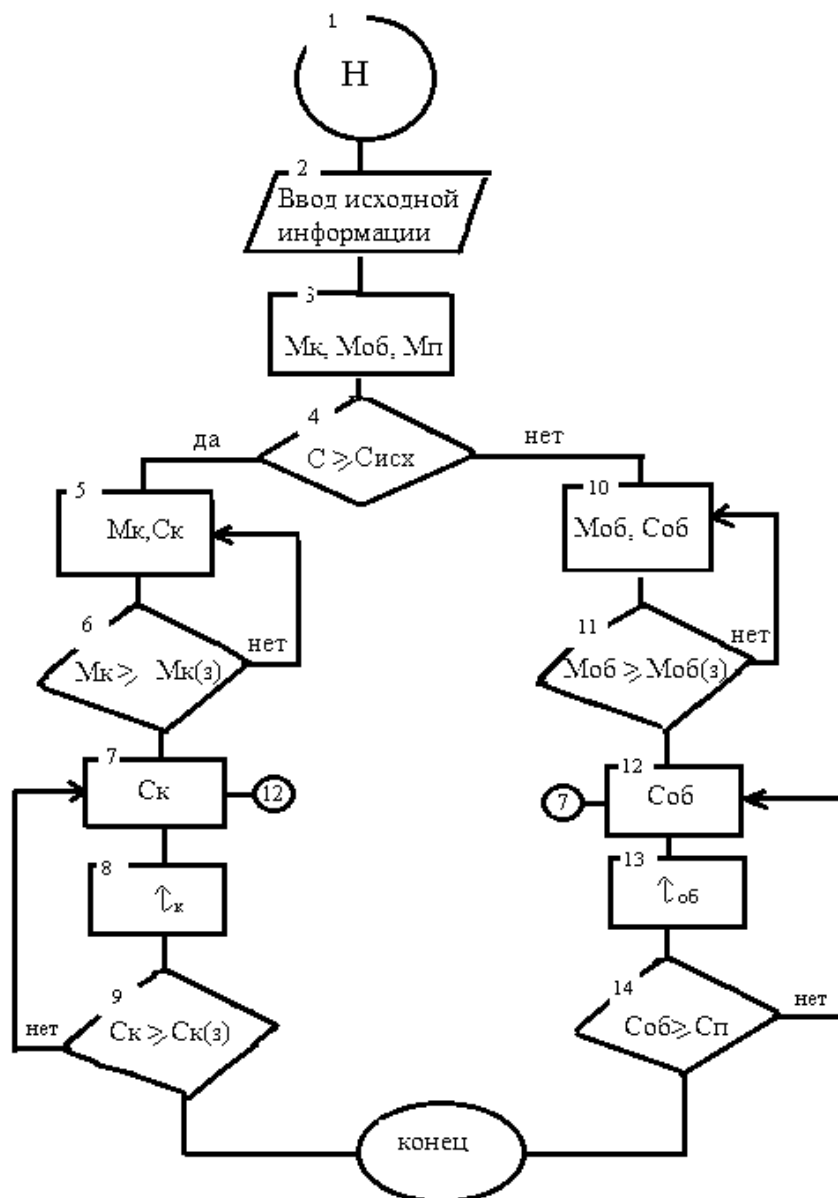


Рисунок 6. Алгоритм расчета

Figure 6. Calculation algorithm

На программу расчета получено свидетельство о государственной регистрации [20].

| главный экран            |           |                             |          |
|--------------------------|-----------|-----------------------------|----------|
| ввод исходной информации |           | полученные результаты       |          |
| исходная концентрация    |           | линия водопроводного потока |          |
| Количество аппаратов     | 17        | Количество аппаратов        | 14       |
| Концентрация             | 21.537111 | Концентрация                | 4.007721 |
| Время, мин               | 11        | Время, мин                  | 9        |

Рисунок 7. Представление результатов расчета

Figure 7. Presentation of calculation results

### Заключение

На основе искусственных нейронных сетей получены данные, которые были использованы для определения оптимальной конфигурации мембранной установки, включающей аппараты с отводом поляризационного слоя. Основным условием, которое принималось во внимание при проектировании установки являлось использование близких по концентрации потоков, образующихся в процессе мембранной переработки. Это позволило значительно интенсифицировать процесс и создать предпосылки для организации малоотходных и безотходных технологий.

Для подтверждения разработанной математической модели была предложена программа

расчета концентраций получаемых компонентов с использованием материального баланса. Разработан алгоритм расчета, блок-схема и программа расчета продолжительности работы мембранной

установки и количество аппаратов, необходимых для получения заданных концентраций. На программу расчета получено свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ.

### Литература

- 1 Гохберг Л.М., Кирпичников М.П. Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Биотехнологии. Москва: Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. – 48 с.
- 2 Лобасенко Б.А., Семенов А.Г., Захаров Ю.Н. Ультрафильтрация: Теория и практика // Наука, 2015. 204 с.
- 3 Терминология. Мембраны и мембранные технологии (научно-информационный портал). URL: <http://www.memtech.ru/index.php/ru/glavnaya/terms>
- 4 Maytakov A.L., Yusupov Sh. T., Popov A.M., Kravchenko S.N. Study of the process of concentration as a factor of product quality formation // Foods and Raw Materials. 2018. V. 6. № 1. P. 172–181.
- 5 Shafrai A.V., Prosekov A. Yu., Vechtomova E.A. Modeling the biocatalytic method of lipid extraction using artificial neural networks // Information (Switzerland). 2023. V. 14. № 8. P. 452.
- 6 Torshizi, M.V., Asghari, A., Tabarsa, F., Danesh, P. et al. Classification by artificial neural network for mushroom color changing under effect uv-A irradiation. Carpathian J. Food Sci. Technol. 2020. V. 12. P.157–167. doi:10.34302/crpfjst/2020.12.2.16
- 7 Ekiz B., Baygul O., Yalcintan H., Ozcan M. Comparison of the decision tree, artificial neural network and multiple regression methods for prediction of carcass tissues composition of goat kids. Meat Sci. 2020. V. 161. P. 108011. doi: 10.1016/j.meatsci.2019.108011
- 8 Shafrai A.V., Permyakova L.V., Borodulin D.M., Sergeeva I.Y. Modeling the physiological parameters of brewer's yeast during storage with natural zeolite-containing tuffs using artificial neural networks // Information (Switzerland). 2022. V. 13. № 11. P. 529.
- 9 Chen J.D., Zhang D.F., Nanekharan Y.A., Li D.L. Detection of rice plant diseases based on deep transfer learning. J. Sci. Food Agric. 2020. V. 100. P. 3246–3256. doi:10.1002/jsfa.10365
- 10 Cunha A.F., Caetano N.S., Ramalho E., Crispim A. Fat extraction from fleshings – Optimization of operating conditions. Energy Rep. 2020. V. 6. P. 381–390. doi: 10.1016/j.egy.2020.11.176
- 11 Tarafdar A., Kaur B.P., Nema P.K., Babar O.A. et al. Using a combined neural network-genetic algorithm approach for predicting the complex rheological characteristics of microfluidized sugarcane juice. LWT-Food Sci. Technol. 2020. V. 123. P. 109058. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109058
- 12 Vasighi-Shojae H., Gholami-Parashkouhi M., Mohammadzamani D., Soheili A. Predicting Mechanical Properties of Golden Delicious Apple Using Ultrasound Technique and Artificial Neural Network. Food Anal. Methods 2020. V. 13. P. 699–705. doi:10.1007/s12161-019-01689-z
- 13 Lu A., Wei X., Cai R., Xiao S., et al. Modeling the effect of vibration on the quality of stirred yogurt during transportation. Food Sci. Biotechnol. 2020. V. 29. P. 889–896. doi:10.1007/s10068-020-00741-7
- 14 Jenkins B., Ronis M., Koulman A. LC–MS lipidomics: Exploiting a simple high-throughput method for the comprehensive extraction of lipids in a ruminant fat dose-response study. Metabolites. 2020. V. 10. P. 296. doi:10.3390/metabo10070296
- 15 Ali A., Qadri S., Mashwani W.K., Brahim Belhaouari S. et al. Machine learning approach for the classification of corn seed using hybrid features. Int. J. Food Prop. 2020. V. 23. P. 1097–1111. doi:10.1080/10942912.2020.1778724
- 16 Asghari M., Dashti A., Rezakazemi M., Jokar E. et al. Application of neural networks in membrane separation // Reviews in Chemical Engineering. 2020. V. 36. №. 2. P. 265–310. doi:10.1515/revce-2018-0011
- 17 Alver A., Kazan Z. Prediction of full-scale filtration plant performance using artificial neural networks based on principal component analysis // Separation and Purification Technology. 2020. V. 230. P. 115868. doi: 10.1016/j.seppur.2019.115868
- 18 Ibrahim, S., Abdul Wahab N. Improved Artificial Neural Network Training Based on Response Surface Methodology for Membrane Flux Prediction. Membranes. 2022. V. 12(8). P. 726. doi: 10.3390/membranes12080726
- 19 Abuwatfa, W.H., AlSawaftah, N., Darwish N., Pitt W.G. A Review on Membrane Fouling Prediction Using Artificial Neural Networks (ANNs) // Membranes. 2023. V. 13(7). P. 685. doi:10.3390/membranes13070685
- 20 Chan, M., Shams, A., Wang C., Lee P. et al. Artificial Neural Network Model for Membrane Desalination: A Predictive and Optimization Study. Computation. 2023. V. 11(3). P. 68. doi:10.3390/computation11030068

### References

- 1 Gokhberg L.M., Kirpichnikov M.P. Forecast of scientific and technological development of Russia: 2030. Biotechnologies // Moscow: The Ministry of Education and Science of the Russian Federation, National Research University «Higher School of Economics». 2014. 48 p. (in Russian).
- 2 Lobasenko B.A., Semenov A.G., Zakharov Yu. N. Ultrafiltration: Theory and Practice // Nauka. 2015. 204 p. (in Russian).
- 3 Glossary of Terms //Membranes and Membrane Technologies. URL: <http://www.memtech.ru/index.php/ru/glavnaya/terms> (in Russian).
- 4 Maytakov A.L., Yusupov Sh. T., Popov A.M., Kravchenko S.N. Study of the process of concentration as a factor of product quality formation // Foods and Raw Materials. 2018. Vol. 6. no. 1. pp. 172–181.
- 5 Shafrai A.V., Prosekov A. Yu., Vechtomova E.A. Modeling the biocatalytic method of lipid extraction using artificial neural network // Information (Switzerland). 2023. Vol. 14. no. 8. pp. 452.
- 6 Torshizi M.V., Asghari A., Tabarsa F., Danesh P. et al. Classification by artificial neural network for mushroom color changing under effect uv-A irradiation. Carpathian J. Food Sci. Technol. 2020. Vol. 12. pp. 157–167. doi:10.34302/crpfjst/2020.12.2.16
- 7 Ekiz B., Baygul O., Yalcintan H., Ozcan M. Comparison of the decision tree, artificial neural network and multiple regression methods for prediction of carcass tissues composition of goat kids. Meat Sci. 2020. Vol. 161. pp. 108011. doi: 10.1016/j.meatsci.2019.108011

- 8 Shafrai A.V., Permyakova L.V., Borodulin D.M., Sergeeva I.Y. Modeling the physiological parameters of brewer's yeast during storage with natural zeolite-containing tuffs using artificial neural networks // Information (Switzerland). 2022. Vol. 13. no. 11. pp. 529.
- 9 Chen J.D., Zhang D.F., Nanehkaran Y.A., Li D.L. Detection of rice plant diseases based on deep transfer learning. J. Sci. Food Agric. 2020. Vol. 100. pp. 3246–3256. doi:10.1002/jsfa.10365
- 10 Cunha A.F., Caetano N.S., Ramalho E., Crispim A. Fat extraction from fleshings – Optimization of operating conditions // Energy Rep. 2020. Vol. 6. pp. 381–390. doi: 10.1016/j.egy.2020.11.176
- 11 Tarafdar A., Kaur B.P., Nema P.K., Babar, O.A. Using a combined neural network-genetic algorithm approach for predicting the complex rheological characteristics of microfluidized sugarcane juice // LWT-Food Sci. Technol. 2020. Vol. 123. pp. 109058. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109058
- 12 Vasighi-Shojae H., Gholami-Parashkouhi M., Mohammadzamani D., Soheili A. Predicting Mechanical Properties of Golden Delicious Apple Using Ultrasound Technique and Artificial Neural Network // Food Anal. Methods. 2020. Vol. 13. pp. 699–705. doi:10.1007/s12161-019-01689-z
- 13 Lu A., Wei X., Cai R., Xiao S. Modeling the effect of vibration on the quality of stirred yogurt during transportation. // Food Sci. Biotechnol. 2020. Vol. 29. pp. 889–896. doi:10.1007/s10068-020-00741-7
- 14 Jenkins B., Ronis M., Koulman A. LC-MS lipidomics: Exploiting a simple high-throughput method for the comprehensive extraction of lipids in a ruminant fat dose-response study // Metabolites 2020, 10, 296. <https://doi.org/10.3390/metabo10070296>.
- 15 Ali A., Qadri S., Mashwani W.K., Brahim Belhaouari S. Machine learning approach for the classification of corn seed using hybrid features // Int. J. Food Prop. 2020. Vol. 23. pp. 1097–1111. doi:10.1080/10942912.2020.1778724
- 16 Asghari M., Dashti A., Rezakazemi M., Jokar E. et al. Application of neural networks in membrane separation // Reviews in Chemical Engineering. 2020. Vol. 36. no. 2. pp. 265–310. doi:10.1515/revce-2018-0011
- 17 Alver A., Zeynep Kazan Z. Prediction of full-scale filtration plant performance using artificial neural networks based on principal component analysis // Separation and Purification Technology. 2020. Vol. 230. P. 115868. doi: 10.1016/j.seppur.2019.115868
- 18 Ibrahim S., Abdul Wahab N. Improved Artificial Neural Network Training Based on Response Surface Methodology for Membrane Flux Prediction // Membranes. 2022. Vol. 12(8). pp. 726. doi:10.3390/membranes12080726
- 19 Abuwatfa W.H., AlSawaftah N., Darwish N., Pitt W.G. et al. A Review on Membrane Fouling Prediction Using Artificial Neural Networks (ANNs) // Membranes. 2023. Vol. 13(7). pp. 685. doi:10.3390/membranes13070685
- 20 Chan M., Shams A., Wang C.; Lee P. et al. Artificial Neural Network Model for Membrane Desalination: A Predictive and Optimization Study // Computation. 2023. Vol. 11(3). pp. 68. doi:10.3390/computation11030068

**Сведения об авторах**

**Борис А. Лобасенко** д.т.н., профессор, кафедра инженерного дизайна, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, lobasenko@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>

**Антон В. Шафрай** к.т.н., доцент, кафедра инженерного дизайна, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, shafraia@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-4512-1933>

**Андрей Г. Семенов** д.т.н., профессор, кафедра теории и методики преподавания естественнонаучных и математических дисциплин, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, agsem55@ya.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-3136-3942>

**Павел А. Галязимов** магистрант, кафедра теории и методики преподавания естественнонаучных и математических дисциплин, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, galiazimov33@gmail.com  
 <https://orcid.org/0009-0004-5590-1946>

**Вклад авторов**

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about authors**

**Boris A. Lobasenko** Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Industrial Design, Kemerovo State University, Krasnaya St. 6, Kemerovo 650000, Russia, lobasenko@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>

**Anton V. Shafrai** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Industrial Design, Kemerovo State University, Krasnaya St. 6, Kemerovo 650000, Russia, shafraia@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-4512-1933>

**Andrey G. Semenov** Cand. Sci. (Econ.), engineer, Department of Theory and Methodology of Teaching Natural Sciences and Mathematics, Kemerovo State University, Krasnaya St. 6, Kemerovo 650000, Russia, agsem55@ya.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-3136-3942>

**Pavel A. Galjazimov** Master student, Department of Theory and Methodology of Teaching Natural Sciences and Mathematics, Kemerovo State University, Krasnaya St. 6, Kemerovo 650000, Russia, galiazimov33@gmail.com  
 <https://orcid.org/0009-0004-5590-1946>

**Contribution**

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

|                             |                                       |                                    |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Поступила</b> 21/10/2024 | <b>После редакции</b> 18/11/2024      | <b>Принята в печать</b> 29/11/2024 |
| <b>Received</b> 21/10/2024  | <b>Accepted in revised</b> 18/11/2024 | <b>Accepted</b> 29/11/2024         |

## Кинетика высвобождения сульфаниламида из полимерного композита на основе акрилового гидрогеля и детонационных наноалмазов

|                      |              |                                                                      |                                                                                                         |
|----------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Дмитрий В. Григорьев | <sup>1</sup> | <a href="mailto:dmitriy-get@rambler.ru">dmitriy-get@rambler.ru</a>   |  0000-0002-7203-7422 |
| Артур В. Гудкин      | <sup>2</sup> | <a href="mailto:gudkinartur@gmail.com">gudkinartur@gmail.com</a>     |  0009-0002-5098-8830 |
| Екатерина В. Хоманец | <sup>1</sup> | <a href="mailto:ekaternahmanec@mail.com">ekaternahmanec@mail.com</a> |  0009-0005-3143-8528 |
| Майя В. Успенская    | <sup>3</sup> | <a href="mailto:mv_uspenskaya@mail.ru">mv_uspenskaya@mail.ru</a>     |  0000-0003-2510-2639 |
| Роман О. Олехнович   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:r.o.olekhnovich@mail.ru">r.o.olekhnovich@mail.ru</a> |  0000-0002-6894-1224 |
| Евгений В. Сивцов    | <sup>2</sup> | <a href="mailto:pjeka@yahoo.fr">pjeka@yahoo.fr</a>                   |  0000-0002-9423-7011 |

1 Университет ИТМО, Кронверкский пр., д. 49, лит. А, Санкт-Петербург, 197101, Россия

2 Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет), Московский проспект, д. 24-26/49 лит. А, Санкт-Петербург, 190013, Россия

3 Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., д. 7–9, Санкт-Петербург, 199034, Россия

**Аннотация.** Методом радикальной полимеризации получен полимерный композиционный материал на основе акриловых гидрогелей и детонационных наноалмазов медицинского назначения, содержащий лекарственное вещество сульфаниламид, способный стать заменой традиционным перевязочным средствам. Изучена кинетика набухания синтезированного гидрогеля. Предложены математические модели, которые наилучшим образом описывают процесс десорбции сульфаниламида и кинетику набухания материала. На основе результатов исследований для описания процесса набухания была выбрана модель псевдоторгового порядка. Методом УФ-спектроскопии изучена кинетика высвобождения сульфаниламида на основании анализа зависимости концентрации выделяемого лекарственного вещества от времени. Сделано предположение о механизме процесса десорбции лекарственного вещества из гидрогелевой матрицы. В ходе эксперимента была рассчитана максимальная доля высвободившегося из полимерной матрицы сульфаниламида (она составила 91%). Время выхода зависимости доли выделившегося лекарства от времени на плато составило 24 часа. На основе полученных данных сделано предположение о возможности создания пролонгированной формы сульфаниламида на основе синтезируемого композиционного материала. Для описания процесса релиза была выбрана модель Корсмаера-Пеппаса на основе наибольшего коэффициента детерминирования. Подобраны значения pH соответствующие разным стадиям течения раневого процесса (7,9, 7,2, 5,8). Изучено влияние pH на кинетику релиза сульфаниламида и на параметры процесса набухания гидрогелевого материала. Методами осцилляционной реометрии исследованы механические свойства синтезированных гидрогелей. Получены зависимости динамических модулей от амплитуды и частоты. Показано влияние наполнителя (детонационных наноалмазов) и лекарственного вещества на значения динамических модулей.

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы, акриловые гидрогели, детонационные наноалмазы, перевязочные материалы, сульфаниламид, кинетика высвобождения.

## Kinetics of sulphanilamide release from polymer composite material for medical purpose based on acrylic hydrogels and detonating nanodiamonds

|                        |              |                                                                      |                                                                                                           |
|------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dmitry V. Grigoriev    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:dmitriy-get@rambler.ru">dmitriy-get@rambler.ru</a>   |  0000-0002-7203-7422 |
| Artur V. Gudkin        | <sup>2</sup> | <a href="mailto:gudkinartur@gmail.com">gudkinartur@gmail.com</a>     |  0009-0002-5098-8830 |
| Ekaterina V. Khomanets | <sup>1</sup> | <a href="mailto:ekaternahmanec@mail.com">ekaternahmanec@mail.com</a> |  0009-0005-3143-8528 |
| Maya V. Uspenskaya     | <sup>3</sup> | <a href="mailto:mv_uspenskaya@mail.ru">mv_uspenskaya@mail.ru</a>     |  0000-0003-2510-2639 |
| Roman O. Olekhnovich   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:r.o.olekhnovich@mail.ru">r.o.olekhnovich@mail.ru</a> |  0000-0002-6894-1224 |
| Eugene V. Sivtsov      | <sup>2</sup> | <a href="mailto:pjeka@yahoo.fr">pjeka@yahoo.fr</a>                   |  0000-0002-9423-7011 |

1 ITMO University, Kronverksky pr., 49, lit. A, Saint Petersburg, 197101, Russia

2 Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Moskovsky Prospekt, 24-26/49 lit. A, Saint Petersburg, 190013, Russia

3 Saint Petersburg State University, Universitetskaya emb., 7–9, Saint Petersburg, 199034, Russia

### Для цитирования

Григорьев Д.В., Гудкин А.В., Хоманец Е.В., Успенская М.В., Олехнович Р.О., Сивцов Е.В. Кинетика высвобождения сульфаниламида из полимерного композита на основе акрилового гидрогеля и детонационных наноалмазов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 230–238. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-230-238

### For citation

Grigoriev D.V., Gudkin A.V., Khomanets E.V., Uspenskaya M.V., Olekhnovich R.O., Sivtsov E.V. Kinetics of sulphanilamide release from polymer composite material for medical purpose based on acrylic hydrogels and detonating nanodiamonds. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 230–238. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-230-238

**Abstract.** A polymer composite material for medical use was obtained, using the method of radical polymerization, based on acrylic hydrogels and detonation nanodiamonds, containing the drug sulfanilamide, which can become a replacement for traditional dressings. The swelling kinetics of the synthesized hydrogel was studied. Mathematical models that best describe the process of sulfonamide desorption and swelling kinetics have been proposed. Based on the research results, a pseudo-second order model was chosen to describe the swelling process. The kinetics of sulfonamide release was studied using UV spectroscopy based on an analysis of the dependence of the concentration of the released drug on time. An assumption has been made about the mechanism of the process of desorption of a medicinal substance from a hydrogel matrix. During the experiment, the maximum proportion of sulfonamide released from the polymer matrix was calculated (it amounted to 91%). The time for the dependence of the proportion of released drug on time to reach a plateau was 24 hours. Based on the data obtained, an assumption about the possibility of creating a prolonged form of sulfonamide based on the synthesized composite material was made. The Korsmaier-Peppas model was chosen to describe the release process based on the highest coefficient of determination. pH values were selected corresponding to different stages of the wound process (7.9, 7.2, 5.8). The effect of pH on the kinetics of sulfonamide release and on the swelling of the hydrogel was studied. The mechanical properties of hydrogels were studied using oscillatory rheometry methods. The dependences of the dynamic modules on amplitude were obtained. The influence of the filler (detonation nanodiamonds) and the drug substance on the values of dynamic moduli is shown.

**Keywords:** polymer composite materials, acrylic hydrogels, detonation nanodiamonds, dressings, sulfanilamide, release kinetics.

## Введение

На сегодняшний день известно большое количество заболеваний, которые вызывают повреждения кожи (микозы, пиодермии, псориаз) [1–2]. Для их местного лечения используются традиционные лекарственные формы (мази, порошки, кремы), применение которых, в сочетании с классическими бинтовыми повязками, имеет ряд существенных недостатков. Перевязка ран доставляет боль и дискомфорт из-за присыхания бинтовой повязки к ране. Кроме того, чаще всего, наблюдается взрывной характер высвобождения лекарственного вещества (ЛВ): препарат достигает своей пиковой концентрации в течение 2 часов и далее снижается.

В связи с этим в настоящее время создание перевязочных материалов, не обладающих перечисленными недостатками, является актуальной задачей [3–4]. Кроме того, особое внимание в медицине уделяется материалам с контролируемыми физико-механическими и сорбционными характеристиками [5–6]. Один из вариантов таких систем – это акриловые гидрогели (АГ). АГ широко изучены и могут быть использованы как нетоксичные, относительно дешевые, обладающие высокой сорбционной емкостью полимерные матрицы [7–8]. Материалы на их основе находят применение в медицине в качестве раневых повязок, изолирующих рану от внешней среды и создающих барьер для микроорганизмов, оставаясь проницаемыми для кислорода. При этом АГ характеризуются низкими физико-механическими свойствами и не обладают собственной биологической активностью. Для улучшения эксплуатационных характеристик гидрогелевого материала можно использовать активный наполнитель, способный взаимодействовать с полимерной матрицей гидрогеля.

В представленной работе в качестве такого наполнителя был выбран дисперсный неорганический филлер – детонационные наноалмазы (ДНА), которые характеризуются химической стойкостью алмазного ядра, активностью периферической оболочки и

сверхтвердостью [9]. В зависимости от вида обработки на поверхности ДНА могут присутствовать различные функциональные группы, в частности,  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{NO}_2$  и др. [10]. Наличие такого разнообразия функциональных групп на поверхности наполнителя открывает возможность конъюгации ДНА с полимерами и ЛВ. Известно, что ДНА могут быть использованы в качестве носителя ЛВ [11]. Кроме того, ДНА проявляют антимикробную и антимикотическую активность, поскольку усиливают генерацию активных форм кислорода, подавляя проникновение вирусов и бактерий в клетки, а также нарушают жизненный цикл вирусов и рост микромицетов [12].

В то же время ДНА могут значительно улучшить механические характеристики гидрогелей, именно поэтому использование ДНА в качестве наполнителя может стать ключом к одновременному повышению физико-механических свойств гидрогелевого материала и приданию ему биологической активности, необходимой для медицинского применения.

Для придания целевой терапевтической активности в структуру гидрогеля необходимо включить ЛВ. Нами был выбран сульфаниламид (СФА), обладающий бактериостатическим эффектом [13]. СФА активен в отношении грамположительных и грамотрицательных кокков и уже долгое время успешно применяется в составе комплексной терапии при воспалительных процессах на коже и инфицированных ожогах в виде порошка [14].

**Цель работы** – получение и исследование свойств полимерного композиционного материала медицинского назначения на основе акрилового гидрогеля и ДНА, содержащего сульфаниламид.

## Материалы и методы

**Синтез гидрогелевого композита.** Акриловую кислоту (АК) марки ч. производства ЗАО «Вектон», перегоняли и хранили в холодильнике. Акриламид (АА) марки ч., тетраэтилметилендиамин (ТМЕД) марки ч. и персульфат аммония (ПСА) марки ч. производства Sigma

Aldrich использовали без дополнительной подготовки. N,N-метиленисакриламид (МБА) производства ЗАО «Вектон» марки ч. хранили в холодильнике. СФА использовали в виде порошка.

Акриловый композит, содержащий ДНА и СФА, получен методом радикальной полимеризации в водной среде. Для этого, в заранее нейтрализованную гидроксидом натрия (степень нейтрализации 0,8) АК добавляли АА в эквимолярном соотношении. В качестве инициатора полимеризации использовалась окислительно-восстановительная система: ТМЕД и ПСА в виде 2 масс. % водных растворов при соотношении ТМЕД:ПСА = 2:1. В качестве сшивающего агента выступал МБА концентрацией 0,2 масс. %. ДНА предварительно дробили в ультразвуковой ванне в воде. К суспензии ДНА концентрацией 0,5 масс. % от массы мономеров добавляли 0,27 масс. % СФА. Полимеризация проводилась при 45 °С в течение 2 часов.

**Изучение набухания акриловых композитных гидрогелей.** Набухание гидрогелей и релиз СФА проводили в растворах фосфатных буферов с pH 7,9, 7,2, 5,8. Это связано с тем, что на разных стадиях течения раневого процесса раны обладают различным pH [15]. На стадии начала воспалительного процесса pH смещен в кислую область; на стадии регенерации и в случае хронических ран – в слабощелочную [16].

Набухание гидрогелевых материалов проводили в течение 48 часов. Степень набухания полимерного материала рассчитывали по формуле:

$$Q_t = \frac{m - m_0}{m_0}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса набухшего образца за определенный промежуток времени, г;  $m_0$  – масса высушенного образца.

Кинетика набухания гидрогеля описывалась следующими математическими моделями.

а) Модель Фика [17] характеризует процесс набухания на начальной стадии ( $Q_t/Q_\infty \leq 0,6$ ):

$$\frac{Q_t}{Q_\infty} = kt^n, \quad (2)$$

где  $Q_t$ ,  $Q_\infty$  – текущая и равновесная степени набухания, представляющие собой количество растворителя, диффундировавшего в гидрогель к текущему моменту времени  $t$  и к моменту времени, соответствующему равновесной степени набухания, отнесенное к 1 грамму сухого вещества;  $k$  – эмпирическая константа (мин<sup>-n</sup>);  $n$  – показатель степени, определяющий тип диффузии растворителя.

б) Кинетическая модель псевдопервого порядка (P1P) [18]

$$\frac{dQ_t}{dt} = k_1 (Q_\infty - Q_t), \quad (3)$$

где  $Q_t, Q_\infty$  – сорбционная емкость в момент времени  $t$  и предельная сорбционная емкость;  $k_1$  – константа скорости сорбции, (мин<sup>-1</sup>)

в) Кинетическая модель псевдовторого порядка (P2P) [19]

$$Q_t = \frac{t}{1/k_2 Q_\infty^2 + t/Q_\infty}, \quad (4)$$

где  $k_2$  – константа скорости сорбции, (г/ммоль·мин).

г) Модель Пелега [20]

$$Q_t = Q_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t}, \quad (5)$$

где  $Q_0$  – степень набухания в момент времени  $t = 0$ ;  $k_1$  – кинетическая константа, (мин·г/г);  $k_2$  – характеристическая константа, (г/г).

**Высвобождение сульфаниламида.** Высвобождение СФА изучали методом УФ-спектроскопии с помощью спектрометра Shimadzu UV-1800i. Спектры записывали в диапазоне 190–500 см<sup>-1</sup> при средней скорости сканирования. Предварительно строили калибровочную прямую зависимость оптической плотности от концентрации ЛВ при длине волны 260 нм.

Кинетику релиза СФА описывали следующими математическими моделями:

Модель Хигучи, которая описывает высвобождение ЛВ из матриц как процесс диффузии, основанный на законе Фика [21].

$$Q_t = K_H \sqrt{t}, \quad (6)$$

где  $Q_t$  – количество высвобожденного лекарства;  $K_H$  – константа (мг/с<sup>-2</sup>).

1) Модель Бейкера–Лонсдейла, разработанная на основе модели Хигучи, позволяет привести кривую высвобождения к линейному виду [22].

$$K_{BL} t = 1,5 \left( 1 - \left( 1 - M_t/M_0 \right)^{0,66} \right) - M_t/M_0, \quad (7)$$

где  $M_t, M_0$  – масса вещества, выделившегося в раствор в момент времени  $t$  и в начальный момент времени;  $K_{BL}$  – константа, (мин<sup>-1</sup>).

2) Модель Корсмаера–Пеппаса описывает релиз ЛВ из нерастворимой и набухающей матрицы [23].

$$\ln \frac{Q_t}{Q_\infty} = n \ln t + \ln K_p, \quad (8)$$

где  $Q_t/Q_\infty$  – доля препарата, высвобождаемая в момент времени  $t$ ;  $K_p$  – константа;  $n$  – показатель степени из уравнения (2).

3) Модель Хопфенберга описывает релиз, учитывая геометрию молекулы ЛВ [24].

$$\frac{M_t}{M_0} = 1 - \left( 1 - \frac{k_0 * t}{c_0 * a} \right)^b, \quad (9)$$

где  $k_0$  – эмпирическая константа, ( $\text{мин}^{-1}$ )  $c_0$  – начальная концентрация ЛВ;  $b$  – коэффициент, учитывающий геометрию ЛВ ( $b = 1, 2$  или  $3$  для плоских, цилиндрических или сферических соответственно);  $a$  – радиус для сферы или цилиндра или половина толщины плиты для плоских ЛВ, мм.

**Реологические исследования.** Реологические исследования проводились с использованием реометра MCR302 Anton-Paar (Австрия, Грац). Геометрия измерительного устройства представляла собой две пластины диаметром 25 мм. Высота измерительного зазора составляла 500 мкм. Все эксперименты проводили при 25 °С. Для обеспечения одинаковой степени набухания все образцы предварительно высушивали до постоянной массы, а затем добавляли дистиллированную воду в соотношении 3 мл воды на 1 г сухого геля.

### Результаты и обсуждение

**Кинетика набухания гидрогелей, содержащих наноалмазы и ЛВ.** Зависимости степени набухания синтезированного гелевого материала, содержащего ДНА и ЛВ, от времени в растворах фосфатных буферов с заданным значением pH представлена на рисунке 1.

Их анализ позволил определить параметры, присутствующие в математических моделях кинетики набухания в формулах (2), (3), (4), (5) (таблица 1).

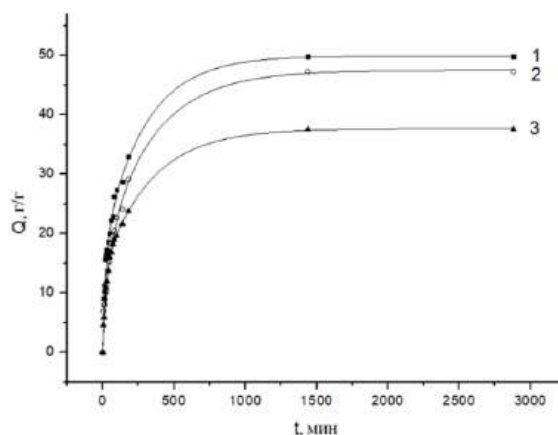


Рисунок 1. Зависимость степени набухания (Q) от времени (t) гидрогелевого композита с детонационными наноалмазами и сульфаниламидом при различных pH: 1 – pH = 7,9; 2 – pH = 7,2; 3 – pH = 5,8  
Figure 1. Dependence of the degree of swelling (Q) on time (t) of a hydrogel composite with detonation nanodiamonds and sulfanilamide at different pH: 1 – pH = 7.9; 2 – pH = 7.2; 3 – pH = 5.8

Исходя из коэффициента детерминации ( $R^2 = 0,995$ ) процесс набухания гидрогеля в фосфатных буферах наилучшим образом описывает модель псевдвторого порядка (P2P). Показатель степени  $n$  синтезированных образцов не превышает 0,5, что свидетельствует о диффузии Фика, которая описывает те случаи, когда скорость проникновения жидкости намного ниже скорости релаксации полимерной цепи. Наибольшая степень набухания 49 г/г достигается при наибольшем pH (pH равно 7,9), что объясняется взаимным отталкиванием депротонированных карбоксильных групп полимерной цепи, которое приводит к растяжению пространственной структуры полимерной сетки.

Таблица 1.  
Параметры математических моделей кинетики набухания гидрогелевого композита

Table 1.

Parameters of mathematical models of swelling kinetics of hydrogel composite

| pH  | Модель Фика<br>Fik's model |        |                | Модель Пеллега<br>Peleg model |                      |                | Модель P1P<br>P1P model |                | Модель P2P<br>P2P model      |                |
|-----|----------------------------|--------|----------------|-------------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
|     | n                          | k      | R <sup>2</sup> | k <sub>1</sub> , мин·г/г      | k <sub>2</sub> , г/г | R <sup>2</sup> | k <sub>1</sub> , 1/мин  | R <sup>2</sup> | k <sub>2</sub> , г/ммоль·мин | R <sup>2</sup> |
| 7,9 | 0,361                      | -0,994 | 0,957          | 0,148                         | 0,081                | 0,912          | 0,0009                  | 0,986          | 0,017                        | 0,994          |
| 7,2 | 0,332                      | -1,168 | 0,953          | 0,153                         | 0,112                | 0,936          | 0,0013                  | 0,911          | 0,018                        | 0,995          |
| 5,8 | 0,306                      | -1,124 | 0,929          | 0,985                         | 0,042                | 0,937          | 0,0051                  | 0,910          | 0,022                        | 0,990          |

Примечание: n – коэффициент Фика; k, k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub> – кинетические константы; R<sup>2</sup> – коэффициент детерминации

Note: n - Fick's coefficient; k, k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub> - kinetic constants; R<sup>2</sup> - coefficient of determination

**Кинетика релиза сульфаниламида из гидрогеля, наполненного наноалмазами.** Зависимость доли высвободившегося СФА

из гелевого композита, наполненных ДНА, от времени в фосфатно-буферных растворах представлена на рисунке 2.

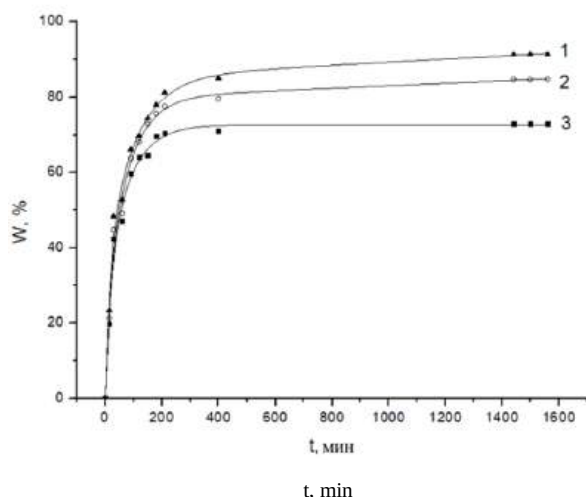


Рисунок 2. Зависимость доли выделившегося сульфаниламида ( $W$ ) из акриловых гидрогелевых композитов, наполненных детонационными наноалмазами, от времени ( $t$ ) в различных pH: 1 – pH = 5,8; 2 – pH = 7,2; 3 – pH = 7,9

Figure 2. Dependence of the proportion of released sulfonamide ( $W$ ) from acrylic hydrogel composites filled with detonation nanodiamonds on time ( $t$ ) at different pH: 1 – pH = 5.8; 2 – pH = 7.2; 3 – pH = 7.9

Во всех изученных случаях высвобождение лекарственного средства из полученного композиционного материала можно описать экспоненциальной зависимостью. Максимальная доля выделившегося ЛВ 91% наблюдалась в кислой среде для композита, содержащего ДНА и СФА. Хорошо известно, что высвобождение сульфаниламида происходит в две стадии: первая – быстрая десорбция около 65 % ЛВ в течение 180 минут, вторая – высвобождение оставшегося ЛВ в течение 24 часов. Выход на плато предельного значения высвобождения сульфаниламида происходил через 24 часа. Стоит отметить, что наиболее полное выделение СФА происходит при pH = 5,8, см. рисунок 2, то раневые повязки, полученные на основе предлагаемых компонентов, наиболее эффективны при лечении ран на начальных стадиях воспаления.

Изучение кинетики высвобождения лекарственного средства с помощью математических моделей Хигучи, Бейкера–Лонсдейла, Корсмаера–Пеппаса, Хопфенберга (таблица 2) показало, что, основываясь на значении коэффициента детерминации, процесс релиза СФА наилучшим образом описывается моделью Корсмаера–Пеппаса.

Таблица 2.  
Параметры математических моделей кинетики десорбции СФА из синтезированного ПКМ в фосфатно-буферном растворе

Table 2.  
Parameters of mathematical models of the kinetics of desorption of SFA from synthesized PCM in a phosphate buffer solution

|     | Модель Хигучи<br>Higuchi model |       | Модель Бейкера–Лонсдейла<br>Baker-Lonsdale model |       | Модель Корсмаера–Пеппаса<br>Korsmayer-Peppas model |       | Модель Хопфенберга<br>Hopfenberg model |       |
|-----|--------------------------------|-------|--------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------|-------|----------------------------------------|-------|
| pH  | $K_H$ , мг/см <sup>2</sup>     | $R^2$ | $K_{BL}$ , л/ч                                   | $R^2$ | $K_p$                                              | $R^2$ | $k_0$ , л/ч                            | $R^2$ |
| 7,9 | $0,85 \times 10^{-5}$          | 0,922 | $5,40 \times 10^{-4}$                            | 0,936 | 0,919                                              | 0,949 | 2,916                                  | 0,942 |
| 7,2 | $0,80 \times 10^{-5}$          | 0,949 | $7,88 \times 10^{-4}$                            | 0,958 | 0,862                                              | 0,962 | 1,965                                  | 0,915 |
| 5,8 | $0,77 \times 10^{-6}$          | 0,954 | $8,44 \times 10^{-4}$                            | 0,965 | 0,807                                              | 0,981 | 1,769                                  | 0,941 |

Примечание:  $K_H$ ,  $K_{BL}$ ,  $K_p$ ,  $k_0$  – кинетические константы;  $R^2$  – коэффициент детерминации

Note:  $K_H$ ,  $K_{BL}$ ,  $K_p$ ,  $k_0$  - kinetic constants;  $R^2$  - coefficient of determination

**Реологические исследования.** Физико-механические характеристики полученных полимерных гидрогелевых образцов исследовали с помощью реометра в режиме осцилляции. В предварительном исследовании с амплитудной разверткой был определен диапазон линейности вязкоупругих свойств, в котором структура исследуемого полимерного образца сохраняется. Было показано, что во всех случаях линейность вязкоупругих свойств нарушалась при амплитудах выше 10% (100% соответствует углу поворота в 2,3 градуса), поэтому в осцилляционном эксперименте использовали амплитуду 1%. На рисунке 3 представлены результаты осцилляционного эксперимента, в ходе которого были получены зависимости динамических

модулей  $G'$  и  $G''$  от частоты. Значения модуля упругости акрилового гидрогелевого материала, наполненного ДНА ( $1, 1'$ ), в 2 раза больше значения модуля гидрогеля без наполнителей ( $2, 2'$ ). Такая разница в значениях, вероятнее всего, связана с тем, что функциональные группы на поверхности ДНА обеспечивают более сильное взаимодействие между полимерными цепями за счет образования сетки водородных связей. Значения модулей упругости полученных акриловых гидрогелей, не содержащих наполнители ( $2, 2'$ ), и гидрогелей, содержащих как ДНА, так и ЛВ ( $3, 3'$ ) практически одинаковы. Это может быть связано с тем, что ЛВ взаимодействует с функциональными группами на поверхности ДНА в процессе синтеза гидрогеля, что препятствует

образованию дополнительных водородных связей между частицами ДНА и полимерными цепями. Таким образом, не происходит увеличения значений механических характеристик гидрогеля при введении ДНА совместно с СФА.

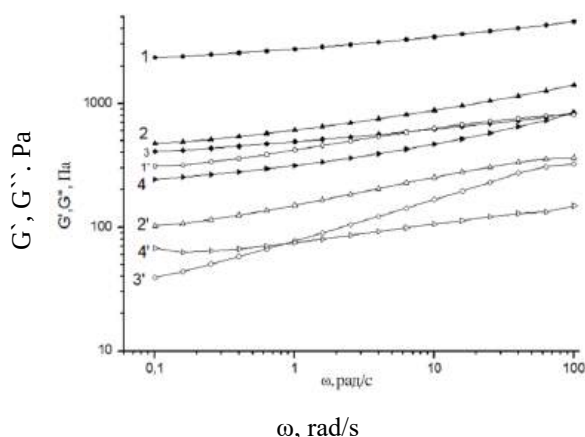


Рисунок 3. Зависимость динамических модулей от частоты при амплитуде 1%. Модули накопления  $G'$  (1, 2, 3, 4), модули потерь  $G''$  (1', 2', 3', 4') для геля, не содержащего ДНА и сульфаниламид (2, 2') и гелей, содержащих: только ДНА (1, 1'), и ДНА, и сульфаниламид (3, 3'), только сульфаниламид (4, 4')

Figure 3. Dependence of dynamic modules on frequency  $\omega$  at an amplitude of 1%. Accumulation modules  $G'$  (1, 2, 3, 4), loss modules  $G''$  (1', 2', 3', 4') for a gel that does not contain DND and sulfonamide (2, 2') and gels containing: DNA only (1, 1'), and DNA and sulfonamide (3, 3'), sulfonamide only (4, 4')

В ходе реологического исследования были изучены зависимости тангенса механических потерь от частоты. Отношение модуля потерь и модуля упругости представляет собой тангенс угла механических потерь, который является мерой баланса упругих и пластичных свойств исследуемого материала. Полученные в ходе настоящего эксперимента значения тангенса механических потерь для всех гидрогелевых

образцов были меньше единицы, что свидетельствует о том, что образцы больше проявляют свойства, характерные для твердого тела.

### Заключение

В работе методом радикальной полимеризации в водной среде был получен полимерный композиционный материал на основе сополимера акриловой кислоты, акрилата натрия и акриламида, ковалентно сшитого N,N-метиленабисакриламидом, наполненный детонационными нанодиамидами и содержащий лекарственное вещество – сульфаниламид. Степень набухания гидрогеля ожидаемо увеличивалась при повышении значения pH. Показано, что доля высвободившегося сульфаниламида увеличивается при уменьшении pH, что позволяет рекомендовать такие полимерные материалы при лечении ран на начальных стадиях воспаления. Максимальная доля выделившегося сульфаниламида из полимерной матрицы достигает 91%. Продемонстрировано, что кинетика набухания акриловых композитов наилучшим образом описывается моделью псевдоторгового порядка, а релиз сульфаниламида – моделью Корсмаера-Пеппаса. Введение ДНА и сульфаниламида оказывает существенное влияние на физико-механические свойства акриловых гидрогелевых материалов. Изучение реологических характеристик полученного гидрогелевого материала показало, что увеличение модуля упругости гидрогеля происходит в зависимости от содержания наполнителей и модификаторов в ряду: ЛВ < ДНА + ЛВ < ненаполненный гидрогель < ДНА. Основываясь на времени полного высвобождения из гидрогеля сульфаниламида, которое составляет 24 часа, можно говорить о возможности пролонгированного терапевтического эффекта при использовании полученной полимерной гидрогелевой композиции в качестве основы раневой повязки.

### Литература

- 1 Rumeet K., Chaxat K. Artificial skin: a review // International Healthcare Research Journal. 2022. №. 6. P. 124-126. doi: 10.26440/IHRJ/0607.10571
- 2 Richard M., Paul C., Nijsten T., Gisondi P. et al. Prevalence of most common skin diseases in Europe: a population-based study // Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology. 2022. №. 36. P. 1088-1096. doi:10.1111/jdv.18050
- 3 Nguyen M.H., Ngoc Le M.H. Biomedical materials for wound dressing: recent advances and applications // RSC Advances. 2023. №. 13. P. 5509-5528. doi:10.1039/d2ra07673j
- 4 Yu P., Wei L., Yang Z., Liu X. et al. Hydrogel wound dressings accelerating healing process of wounds in movable parts // International Journal of Molecular Science. 2024. V. 25. №.12. P. 6610. doi:10.3390/ijms25126610
- 5 Vigata M., Meinert C., Huttmacher D.W. Hydrogels as drug delivery systems: a review of current characterization and evaluation techniques // Pharmaceutics. 2020. no. 12. pp. 1188–1233. doi:10.3390/pharmaceutics12121188
- 6 Rakesh K.S., Shailesh M.K., Jain V. A review of hydrogels, with its properties and applications in medicine // Journal of Biomedical and Pharmaceutical Research. 2023. №.12. P. 20-33. doi:10.34297/AJBSR.2021.11.001682

- 7 Лунева О.В., Фатеев А.Д., Кашурин А.И., Успенская М.В. Исследование свойств полувзаимопроникающих сетей на основе акрилового гидрогеля и коллагена // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2022. Т. 15. № 3. С. 318-328. doi:10.17516/1998-2836-0295
- 8 Jie R., Ningrui Z., Yang J., Xiang X. Regulated the swelling properties of poly(acrylamide-co-acrylic acid) hydrogel by changing the charge density // *Macromolecular Chemistry and Physics*. 2023. №. 17. P. 237-249. doi: 10.1002/macp.202300266
- 9 Долматов В.Ю., Шамес А.И., Осава Э., Веханен А. и др. Детонационные наноалмазы: от теории синтеза до практики применения // Журнал перспективных материалов и технологий. 2021. Т. 6. № 1. С. 54-80.
- 10 Lanin S. N., Rychkova S. A., Vinogradov A. E., Lanina K. S. et al. Modification of the surface chemistry of microdispersed sintered detonation nanodiamonds and its effect on the adsorption properties // *Adsorption*. 2017. V. 23. P. 639-650.
- 11 Долматов В.Ю., Озерин А.Н., Кулакова И.И., Бочечка О.О., Лапчук Н.М., Мюллюмяки В., Веханен А. Детонационные наноалмазы: новые аспекты в теории и практике синтеза, свойств и применения // *Успехи химии*. 2020. Т. 89. № 12. С. 1428-1463. DOI: doi.org/10.1070/RCR4924
- 12 Шугалей И.В., Возняковский А.П., Гарабаджиу А.В., Целинский И.В. и др. Биологическая активность детонационного наноалмаза и перспективы его медицинского и биологического применения // *Российский журнал общей химии*. 2013. Т. 83. С. 709-744.
- 13 Tacic A., Nikolic V., Nikolic L., Savic I. Antimicrobial sulphonamide drugs // *Advanced Technologies*. 2017. V. 6. №. 1. P. 58-71.
- 14 Bhuvaneshwari R., Nagarajan V., Chandiramouli V. Chemisorption of sulfaguanidine and sulfanilamide drugs on bismuthene nanosheet based on first-principles studies // *Applied Surface Science*. 2021. V. 56. pp. 825-832. doi: 10.1016/j.apsusc.2021.149990
- 15 Derwin R., Strapp H., Patton D., Moore Z. Wound pH and temperature as predictors of healing: an observational study // *Journal of Wound Care*. 2023. V. 32. №. 5. P. 302-310. doi:10.12968/jowc.2023.32.5.302
- 16 Ali S.M., Yosipovitch G. Skin pH: from basic science to basic skin care // *Acta Dermato-Venereologica*. 2013. V. 93. №. 3. P. 261-267. doi:10.2340/00015555-1531
- 17 Banerjee I., Mishra D., Das T. Wound pH-responsive sustained release of therapeutics from a poly(NIPAAm-co-AAc) hydrogel // *Journal of biomaterials science, polymer edition*. 2012. vol. 23. pp. 111-132. DOI: 10.1163/092050610X545049.
- 18 Percival S.L., McCarty S., Hunt J.A., Woods E.J. The effects of pH on wound healing, biofilms, and antimicrobial efficacy // *Wound Repair and Regeneration*. 2014. V. 22. №. 2. P. 174-186. doi:10.1111/wrr.12125
- 19 Gierszewska-Drużyńska M., Ostrowska-Czubenko J. Mechanism of water diffusion into noncrosslinked and ionically crosslinked chitosan membranes // *Progress of Chemistry and Application of Chitin Its Derivatives*. 2012. V. 17. P. 63-70.
- 20 Luboš V., Augustin J. Linear and non-linear regression analysis for the biosorption kinetics of methylene blue // *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2021. V. 9. №. 1. P. 199-204. doi:10.36547/nbc.1278
- 21 Huang H., Yang Q., Zhang L., Huang C. Polyacrylamide modified kaolin enhances adsorption of sodium alginate/carboxymethyl chitosan hydrogel beads for copper ions // *Chemical Engineering Research and Design*. 2022. V. 180. P. 296-305. doi:10.1016/j.cherd.2022.02.030
- 22 Nangi S., Katyal D., Warkar S. Kinetics, absorption and diffusion mechanism of crosslinked chitosan hydrogels // *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*. 2021. V. 28. P. 374-384.
- 23 Ozkahraman B., Acar I., Guclu G. Synthesis of N-vinylcaprolactam and methacrylic acidbased hydrogels and investigation of drug release characteristics // *Polymer Bulletin*. 2023. V. 80. P. 5149-5181. doi:10.1007/s00289-022-04301-3
- 24 Muhammad U., Izwan S., Mehboob H., Rehman S. et al. Antibacterial and hemocompatible pH-responsive hydrogel for skin wound healing application: in vitro drug release // *Polymers*. 2021. V. 13. №. 21. P. 3703. doi: 10.3390/polym13213703

## References

- 1 Rumeet K., Chaxat K. Artificial skin: a review // *International Healthcare Research Journal*. 2022. no. 6. pp. 124-126. doi:10.26440/IHRJ/0607.10571
- 2 Richard M., Paul C., Nijsten T., Gisondi P. et al. Prevalence of most common skin diseases in Europe: a population-based study // *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*. 2022. no. 36. pp. 1088-1096. doi:10.1111/jdv.18050
- 3 Nguyen M.H., Ngoc Le M.H. Biomedical materials for wound dressing: recent advances and applications // *RSC Advances*. 2023. no. 13. pp. 5509-5528. doi:10.1039/d2ra07673j
- 4 Yu P., Wei L., Yang Z., Liu X. et al. Hydrogel wound dressings accelerating healing process of wounds in movable parts // *International Journal of Molecular Science*. 2024. Vol. 25. no.12. pp. 6610. doi:10.3390/ijms25126610
- 5 Vigata M., Meinert C., Huttmacher D.W. Hydrogels as drug delivery systems: a review of current characterization and evaluation techniques // *Pharmaceutics*. 2020. no. 12. pp. 1188-1233. doi:10.3390/pharmaceutics12121188
- 6 Rakesh K.S., Shailesh M.K., Jain V. A review of hydrogels, with its properties and applications in medicine // *Journal of Biomedical and Pharmaceutical Research*. 2023. no. 12. pp. 20-33. doi:10.34297/AJBSR.2021.11.001682
- 7 Luneva O.V., Fateev A.D., Kashurin A.I., Uspenskaya M.V. Study of the properties of semi-interpenetrating networks based on acrylic hydrogel and collagen // *J. Sib. Fed. Univ. Chem*. 2022. Vol. 15. no 3. pp. 318-328. (in Russian).

- 8 Jie R., Ningrui Z., Yang J., Xiang X. Regulated the swelling properties of poly(acrylamide- co -acrylic acid) hydrogel by changing the charge density // *Macromolecular Chemistry and Physics*. 2023. no. 17. pp. 237-249. doi: 10.1002/macp.202300266
- 9 Dolmatov V.U., Shames A.I., Osawa E., Vehanen A. et al. Detonation nanodiamonds: from the theory of synthesis to the practice of application // *Journal of advanced materials and technologies*. 2021. vol. 6. no. 1. pp. 54-80. (in Russian).
- 10 Lanin S. N., Rychkova S. A., Vinogradov A. E., Lanina K. S. et al. Modification of the surface chemistry of microdispersed sintered detonation nanodiamonds and its effect on the adsorption properties // *Adsorption*. 2017. Vol. 23. pp. 639-650.
- 11 Dolmatov V.Yu., Ozerin A.N., Kulakova I.I., Bochechka O.O. et al. Detonation nanodiamonds: new aspects in the theory and practice of synthesis, properties and Applications // *Advances in Chemistry*. 2020. Vol. 89. no. 12. pp. 1428-1463. doi:10.1070/RCR4924 (in Russian).
- 12 Shugaley I.V., Voznyakovskiy A.P., Garabadzhiu A.V., Tselinsky I.V. et al. Biological activity of detonation nanodiamond and prospects for its medical and biological application // *Russian Journal of General Chemistry*. 2013. no. 83. pp. 709-744. (in Russian).
- 13 Tacic A., Nikolic V., Nikolic L., Savic I. Antimicrobial sulphonamide drugs // *Advanced Technologies*. 2017. Vol. 6. no. 1. pp. 58-71.
- 14 Bhuvaneshwari R., Nagarajan V., Chandiramouli V. Chemisorption of sulfaguanidine and sulfanilamide drugs on bismuthene nanosheet based on first-principles studies // *Applied Surface Science*. 2021. Vol. 56. pp. 825-832. doi: 10.1016/j.apsusc.2021.149990
- 15 Derwin R., Strapp H., Patton D., Moore Z. Wound pH and temperature as predictors of healing: an observational study // *Journal of Wound Care*. 2023. Vol. 32. no. 5. pp. 302-310. doi:10.12968/jowc.2023.32.5.302
- 16 Ali S.M., Yosipovitch G. Skin pH: from basic science to basic skin care // *Acta Dermato-Venereologica*. 2013. Vol. 93. no. 3. pp. 261-267. doi:10.2340/00015555-1531
- 17 Banerjee I., Mishra D., Das T. Wound pH-responsive sustained release of therapeutics from a poly(NIPAAm-co-AAc) hydrogel // *Journal of biomaterials science, polymer edition*. 2012. Vol. 23. pp. 111-132. doi:10.1163/092050610X545049
- 18 Percival S.L., McCarty S., Hunt J.A., Woods E.J. The effects of pH on wound healing, biofilms, and antimicrobial efficacy // *Wound Repair and Regeneration*. 2014. Vol. 22. no. 2. pp. 174-186. doi:10.1111/wrr.12125
- 19 Gierszewska-Drużyńska M., Ostrowska-Czubenko J. Mechanism of water diffusion into noncrosslinked and ionically crosslinked chitosan membranes // *Progress of Chemistry and Application of Chitin Its Derivatives*. 2012. Vol. 17. pp. 63-70.
- 20 Luboš V., Augustin J. Linear and non-linear regression analysis for the biosorption kinetics of methylene blue // *Nova Biotechnologica et Chimica*. 2021. Vol. 9. no. 1. pp. 199-204. doi:10.36547/nbc.1278
- 21 Huang H., Yang Q., Zhang L., Huang C. Polyacrylamide modified kaolin enhances adsorption of sodium alginate/carboxymethyl chitosan hydrogel beads for copper ions // *Chemical Engineering Research and Design*. 2022. Vol. 180. pp. 296-305. doi:10.1016/j.cherd.2022.02.030
- 22 Nangi S., Katyal D., Warkar S. Kinetics, absorption and diffusion mechanism of crosslinked chitosan hydrogels // *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*. 2021. Vol. 28. pp. 374-384.
- 23 Ozkahraman B., Acar I., Guclu G. Synthesis of N-vinylcaprolactam and methacrylic acidbased hydrogels and investigation of drug release characteristics // *Polymer Bulletin*. 2023. Vol. 80. pp. 5149-5181. doi:10.1007/s00289-022-04301-3
- 24 Muhammad U., Izwan S., Mehboob H., Rehman S. et al. Antibacterial and hemocompatible pH-responsive hydrogel for skin wound healing application: in vitro drug release // *Polymers*. 2021. Vol. 13. no. 21. pp. 3703. doi:10.3390/polym13213703

#### Сведения об авторах

**Дмитрий В. Григорьев** аспирант, центр химической инженерии, Университет ИТМО, Кронверкский пр., д. 49, лит. А, Санкт-Петербург, 197101, Россия, dmitriy-get@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7203-7422>

**Артур В. Гудкин** студент, кафедра химии и технологии органических соединений азота, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Московский проспект, д. 24-26/49 лит. А, Санкт-Петербург, 190013, Россия, gudkinartur@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0002-5098-8830>

**Екатерина В. Хоманец** студент, центр химической инженерии, Университет ИТМО, Кронверкский пр., д. 49, лит. А, Санкт-Петербург, 197101, Россия, ekaternahmanec@mail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-3143-8528>

**Майя В. Успенская** д.т.н., профессор, институт химии, Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., д. 7–9, Санкт-Петербург, 199034, Россия, mv\_uspenskaya@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2510-2639>

#### Information about authors

**Dmitry V. Grigoriev** PhD student, Chemical Engineering Center, ITMO University, Kronverksky pr., 49, lit. A, Saint Petersburg, 197101, Russia, dmitriy-get@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7203-7422>

**Artur V. Gudkin** student, department of chemistry and technology of organic nitrogen compounds, Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Moskovsky Prospect, 24-26/49 lit. A, Saint Petersburg, 190013, Russia, gudkinartur@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0002-5098-8830>

**Ekaterina V. Khomanets** student, Chemical Engineering Center, ITMO University, Kronverksky pr., 49, lit. A, Saint-Petersburg, 197101, Russia, ekaternahmanec@mail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-3143-8528>

**Maya V. Uspenskaya** Dr. Sci. (Eng.), professor, Institute of Chemistry, Saint Petersburg State University, Universitetskaya emb., 7–9, Saint Petersburg, 199034, Russia, mv\_uspenskaya@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2510-2639>

**Роман О. Олехнович** к.х.н., доцент, факультет систем управления и робототехники, Университет ИТМО, Кронверкский пр., д. 49, лит. А, Санкт-Петербург, 197101, Россия, r.o.olekhnovich@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6894-1224>

**Евгений В. Сивцов** д.х.н., профессор, кафедра физической химии, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Московский проспект, д. 24-26/49 лит. А, Санкт-Петербург, 190013, Россия, pjeka@yahoo.fr

 <https://orcid.org/0000-0002-9423-7011>

#### Вклад авторов

**Дмитрий В. Григорьев** предложил методику проведения эксперимента, обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент

**Артур В. Гудкин** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

**Екатерина В. Хоманец** обзор литературных источников по исследуемой проблеме

**Майя В. Успенская** консультация в ходе исследований

**Роман О. Олехнович** консультация в ходе исследования

**Евгений В. Сивцов** консультация в ходе исследования

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Roman O. Olekhnovich** PhD, associate professor, Faculty of Control Systems and Robotics, ITMO University, Kronverksky pr., 49, lit. A, Saint-Petersburg, 197101, Russia, r.o.olekhnovich@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6894-1224>

**Eugene V. Sivtsov** Dr. Sci. (Chem), professor, Physical chemistry department, Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Moskovsky Prospect, 24-26/49 lit. A, Saint Petersburg, 190013, Russia, pjeka@yahoo.fr

 <https://orcid.org/0000-0002-9423-7011>

#### Contribution

**Dmitry V. Grigoriev** proposed a scheme of the experiment and organized production trials, review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment

**Artur V. Gudkin** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Ekaterina V. Khomanets** review of the literature on an investigated problem

**Maya V. Uspenskaya** consulting during the study

**Roman O. Olekhnovich** consultation during the study

**Eugene V. Sivtsov** consultation during the study

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 30/10/2024 | После редакции 15/11/2024      | Принята в печать 28/11/2024 |
| Received 30/10/2024  | Accepted in revised 15/11/2024 | Accepted 28/11/2024         |

## Перспективы разработки топливостойких эластомерных материалов для применения в регионах с холодным климатом

|                       |              |                                                              |                                                                                                         |
|-----------------------|--------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Анна С. Пушница       | <sup>1</sup> | <a href="mailto:apushnitsa@inbox.ru">apushnitsa@inbox.ru</a> |  0000-0003-4417-4371 |
| Валерий В. Власов     | <sup>2</sup> | <a href="mailto:ganghubas@mail.ru">ganghubas@mail.ru</a>     |  0000-0003-1057-8167 |
| Александр С. Москалев | <sup>3</sup> | <a href="mailto:kaf-tospp@vsuet.ru">kaf-tospp@vsuet.ru</a>   |  0000-0002-3403-3850 |

1 МИРЭА – Российский технологический университет, Малая Пироговская, д.1, стр.5, г. Москва, 119435, Россия

2 Ярославский государственный технический университет, пр-т Московский, 88, г. Ярославль, 150023, Россия

3 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Полимерные материалы с низкотемпературными характеристиками должны обеспечивать надежность техники, конструкций и сооружений при воздействии как внешних, так и внутренних факторов способных разрушить материал. Анализируя научно-техническую литературу в области материаловедения, в частности эластомерных материалов работоспособных в различных углеводородных средах в условиях холодного климата, принято решение продолжать исследования направленные на повышение морозостойкости и долговечности эластомерных материалов стойких к топливу. В работе описаны результаты исследования бутадиен-нитрильных каучуков путем модификации агентами вулканизации и полимерными добавками, с целью улучшения комплекса эксплуатационных свойств эластомерных материалов уплотнительного назначения. Исследованы свойства вулканизатов стандартных резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильных каучуков с различным содержанием нитрилакриловой кислоты. В качестве агентов вулканизации были выбраны органический пероксид 2ди-(2-третбутилпероксиизопропил) - бензол торговой марки Luperox F-40 и комбинация серы с ускорителем. Определены их реологические свойства в зависимости от вида вулканизирующего агента. Изучены физико-механических и низкотемпературных свойств полученных вулканизатов. Проведено исследование влияния вида вулканизирующего агента в резиновой смеси на основе полярных каучуков на низкотемпературные свойства вулканизатов. Исследованы рецептуры резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука, модифицированных полукристаллическим и стирол-бутилен-стирольного блок-сополимера для повышения низкотемпературных свойств. Изучены физико-механических свойства полученных материалов. Предложены рецептурно-технологические решения, обеспечивающие повышение морозостойкости полимерных композиционных материалов на основе эластомеров, эксплуатируемых в условиях низких температур. Исследования, направленные на разработку новых методов модификации эластомерных материалов на основе БНК, позволяют эффективно решать проблемы создания многофункциональных резин для регионов с холодным климатом.

**Ключевые слова:** морозостойкость, эластомерные материалы, масло-, бензостойкость, бутадиен-нитрильный каучук, надежность

## Potential for development of fuel-resistant elastomeric materials for use in regions with severe climate conditions

|                     |              |                                                              |                                                                                                           |
|---------------------|--------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anna S. Pushnitsa   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:apushnitsa@inbox.ru">apushnitsa@inbox.ru</a> |  0000-0003-4417-4371 |
| Valeriy V. Vlasov   | <sup>2</sup> | <a href="mailto:ganghubas@mail.ru">ganghubas@mail.ru</a>     |  0000-0003-1057-8167 |
| Alexandr S. Moskaev | <sup>3</sup> | <a href="mailto:kaf-tospp@vsuet.ru">kaf-tospp@vsuet.ru</a>   |  0000-0002-3403-3850 |

1 MIREA - Russian Technological University, Malaya Pirogovskaya, 1, p. 5, Mos-cow, 119435, Russia

2 Yaroslavl State Technical University, Moskovsky Ave., 88, Yaroslavl, 1509999, Russia

3 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** Polymer materials with low-temperature characteristics must ensure the reliability of machinery, structures and structures when exposed to both external and internal factors capable of destroying the material. Analyzing the scientific and technical literature in the field of materials science, in particular elastomeric materials that can work in various hydrocarbon environments in cold climates, it was decided to continue research aimed at increasing the frost resistance and durability of elastomeric materials resistant to fuel. The paper describes the results of a study of nitrile butadiene rubbers by modification with vulcanization agents and polymer additives in order to improve the complex of operational properties of elastomeric sealing materials. The properties of vulcanizates of standard rubber compounds based on butadiene-nitrile rubbers with different contents of nitrilacrylic acid are investigated. Organic 2di-(2-tretbutylperoxyisopropyl)-benzene peroxide of the Luperox F-40 trademark and a combination of sulfur with an accelerator were selected as vulcanization agents. Their rheological properties are determined depending on the type of vulcanizing agent. The physicomachanical and low-temperature properties of the obtained vulcanizates have been studied. The effect of a type of vulcanizing agent in a rubber compound based on polar rubbers on the low-temperature properties of vulcanizates has been studied. Formulations of rubber compounds based on butadiene-nitrile rubber modified with semi-crystalline and styrene-butylene-styrene block copolymer for increasing low-temperature properties are studied. The physicomachanical properties of the obtained materials have been studied. Formulation and technological solutions are proposed to increase the frost resistance of polymer composite materials based on elastomers operated at low temperatures. Research aimed at developing new methods for modifying elastomeric materials based on BNC will effectively solve the problems of creating multifunctional rubbers for regions with a cold climate.

**Keywords:** frost resistance, elastomeric materials, oil and gasoline resistance, nitrile butadiene rubber, reliability.

Для цитирования

Пушница А.С., Власов В.В., Москалев А.С. Перспективы разработки топливостойких эластомерных материалов для применения в регионах с холодным климатом // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 239–246. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-239-246

For citation

Pushnitsa A.S., Vlasov V.V., Moskaev A.S. Potential for development of fuel-resistant elastomeric materials for use in regions with severe climate conditions. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 239–246. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-239-246

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Внимание к развитию регионов с холодным климатом, уделяется по причинам безопасности государства и экономическому росту. Развитие требует решения задач, связанных с экономическими, природными, научно-техническими и другими факторами. Научно-технический фактор в области арктического материаловедения во многом определяет состояние развития регионов с холодным климатом. Обзоры [1–3] академика В.М. Бузника и соавторов посвящены истории и тенденциям развития арктического материаловедения, в которых показана актуальность исследований в области повышения морозостойкости эластомерных материалов.

Согласно определению академика И.В. Тананаева, материалы – это химические вещества со свойствами, обеспечивающими их практическое применение. Материалы, должны не только обеспечивать практическое применение, но и обеспечивать долговечность эксплуатационного ресурса для обеспечения надежности техники, особенно в условиях холодного климата. Регионы с холодным климатом подвержены перепадом температур от минус 30 до 0 °C за сутки в осенне-весенний период и длительному снижению температуры воздуха до минус 60 °C в зимний период; высокой влажности, сильному ветру и УФ-излучению в летний период.

Полимерные материалы с низкотемпературными характеристиками должны обеспечивать надежность техники, конструкций и сооружений при воздействии как внешних, так и внутренних факторов способных разрушить материал. В работах, посвященных арктическому материаловедению [1, 2] особое внимание уделяется вопросу надежности изделий изготовленных с применением полимерных композиционных материалов, поскольку способность материалов длительное время сохранять эксплуатационные свойства и работать безаварийно является одним из ключевых требований при создании функциональных материалов, эксплуатируемых в условиях холодного климата.

В обзоре [1], приведено распределение эластомерных материалов по отраслям. С указанием на то, что полимерные композиционные материалы, в частности морозо-, масло-, бензостойкие эластомерные материалы, необходимы для развития полярной авиации, морских и речных судов, наземного транспорта и геологоразведочной техники, а также специальных видов техники для добычи и транспортировки углеводородов и минерального сырья.

На данном этапе создание полимерных композиционных материалов, которые составляют не менее 10% от общего числа материалов для регионов с холодным климатом, качественно переходит на новый уровень. В связи с чем

увеличивается количество работ, посвященных исследованиям по созданию «smart materials», по компатибилизации полимеров на границе раздела фаз термодинамически несовместимых полимеров, математическому моделированию структурирования при различных условиях вулканизации и др., а также эффективным методам оценки эксплуатационных свойств материалов [4].

При этом, в настоящее время, для научно-технических специалистов импортозамещение стоит во главе при выборе полимерной матрицы и функциональных добавок для создания полимерных композиционных материалов, отвечающим долговечности в условиях эксплуатации и технологичности.

Так, например, для создания морозостойких резин уплотнительного назначения, стойких к воздействию топлива, проводили исследования эластомерных материалов на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков [8], эпихлоргидриновых и пропиленоксидных, которые обладают лучшими низкотемпературными характеристиками и стойкостью к агрессивным средам [5, 11, 13–18]. Однако, результаты проведенных исследований не нашли распространения практического применения поскольку, целевые ингредиенты исследованных эластомерных материалов выпускаются в основном за пределами РФ.

В РФ выпускаются фторсилоксановые и бутадиен-нитрильные каучуки, которые обладают стойкостью к низким температурам и топливу. Фторсилоксановые эластомерные материалы могут длительное время эксплуатироваться на воздухе в широком интервале температур при контакте с различными видами топлива, но их стоимость накладывает ограничение для многих отраслей промышленности. [22–24]. Бутадиен-нитрильные каучуки уступают фторсилоксановым по температурному интервалу эксплуатации, при этом они значительно дешевле и имеют потенциал к различным видам модификации.

Известно, что к авиационным материалам предъявляются более жесткие требования к эксплуатационным свойствам и долговечности материалов. Поэтому уплотнительные элементы для авиационной техники, обладающие низкотемпературными характеристиками и масло-, бензостойкостью изготавливаются на отечественных фторсилоксановых эластомерных материалах.

Увеличение [6–12] научно-практических работ, направленных на исследование и разработку новых методов модификации эластомеров на основе бутадиен-нитрильных каучуков с целью улучшения эксплуатационных характеристик и долговечности резин на их основе, обосновано их разнообразием на отечественном рынке. ПАО «СИБУР Холдинг» производит бутадиен-нитрильные каучуки с различным содержанием НАК (нитрилакриловой кислоты)

от 18 до 40% [25]. Публикации, посвященные исследованиям резин на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков, имеют место, так как в них демонстрируются преимущества эксплуатационных свойств по отношению к бутадиен-нитрильным каучукам.

Эластомерные материалы на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков обладают озоно-, термостойкостью, а также, что важно высокой морозостойкостью в сочетании с устойчивостью к действию различных углеводородных сред [19–21]. На рисунке 1 представлено строение макромолекул, с увеличением количества полярных групп в боковых ответвлениях улучшается стойкость к углеводородным средам и снижается морозостойкость.

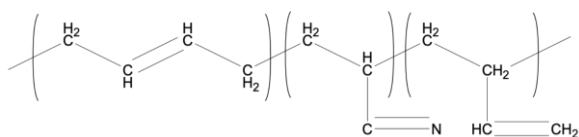


Рисунок 1. Структурная формула бутадиен-нитрильного каучука

Figure 1. Structural formula of butadiene-nitrile rubber

Эластомерные материалы, изготовленные с применением ГБНК и БНК, нашли широкое распространение в качестве уплотнительных элементов в различных транспортных наземных системах, и насосных станций, поскольку, они обеспечивают достаточный уровень стойкости к маслам и низким температурам до минус 50 °С.

Анализируя научно-техническую литературу в области материаловедения, в частности эластомерных материалов работоспособных в различных углеводородных средах в условиях холодного климата, принято решение продолжать исследования направленные на повышение морозостойкости и долговечности эластомерных материалов стойких к топливу. Исследования направленные на разработку новых методов модификации эластомерных материалов на основе БНК позволят эффективно решать проблемы материаловедения по долговечности эксплуатационного.

**Цель работы** – изучение комплекса свойств эластомерных материалов, предъявляемых к уплотнительным материалам, предназначенным для изготовления различных уплотнительных элементов техники и конструкций, контактирующих с агрессивными средами в условиях холодного климата.

### Материалы и методы

В качестве объектов исследования приготовлены резиновые смеси на основе бутадиен-нитрильных каучуков по стандартной рецептуре. Все модельные смеси готовили на лабораторных смесительных вальцах в одном температурном режиме.

Затем согласно стандартным методам испытания [26] изучали кинетику вулканизации и влияние различных агентов вулканизации на эксплуатационные свойства модельных образцов. Вулканизационные характеристики определяли с помощью реометра MDR 3000. В качестве агентов вулканизации были выбраны органический пероксид 2ди-(2-третбутилпероксиизопропил) – бензол торговой марки Luperox F-40 и комбинация серы с ускорителем.

В качестве модифицирующей добавки изучили полукристаллический сополимер этилена и пропилена под торговой маркой Vistamaxx 6102, а также термоэластопластичный стирол-этилен-бутилен-стирольный блок-сополимер.

Резиновые смеси содержали БНКС-40 АМН, технический углерод П-324, стеариновую кислоту, оксид цинка с варьированием содержания органического пероксида 1, 2, 3, 5, 8 и 10 масс. частей на 100 масс. частей каучука, а также смесь сравнения на серной вулканизирующей системе. Рецептуры опытных резиновых смесей представлены в таблице 1., результаты их испытаний – в таблице 2.

Кроме того, в ходе эксперимента было изучено влияние предварительной механоактивации гранул пероксида путем измельчения на свойства готового материала.

Таблица 1.

Рецептуры опытных резиновых смесей

Table 1.

Formulations of experimental rubber compounds

| Ингредиент<br>Ingredient                           | Шифры образцов и содержание ингредиентов, масс. ч.<br>Sample codes and ingredient content, phr |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                    | 3П-1                                                                                           | 3П-2  | 3П-3  | 3П-5  | 3П-8  | 3П-10 | 2С    |
| БНКС-40АМН<br>BNKS-40AMN rubber                    | 100,0                                                                                          | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Оксид цинка   Zinc oxide                           | 5,0                                                                                            | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 3,0   |
| Luperox F40                                        | 1,0                                                                                            | 2,0   | 3,0   | 5,0   | 8,0   | 10,0  |       |
| Стеарин   Stearic acid                             | 1,0                                                                                            | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0   |
| Серa   Sulfur                                      | -                                                                                              | -     | -     | -     | -     | -     | 1,5   |
| Сульфенамид Ц   Accelerator CBS                    | -                                                                                              | -     | -     | -     | -     | -     | 0,7   |
| Техуглерод П324 (N330)<br>Carbon black П324 (N330) | 40,0                                                                                           | 40,0  | 40,0  | 40,0  | 40,0  | 40,0  | 40,0  |
| Итого   Total                                      | 147,0                                                                                          | 148,0 | 149,0 | 151,0 | 154,0 | 156,0 | 146,2 |

Таблица 2.

Результаты испытаний опытных резиновых смесей

Table 2.

Test results of experimental rubber compounds

| Показатели<br>Indicators                                                                             | Шифры образцов и значение показателей<br>Sample codes and value of indicators |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                                                      | 3П-1                                                                          | 3П-2  | 3П-3  | 3П-5  | 3П-8  | 3П-10 | 2С    |
| Температура вулканизации, °С   Vulcanization temperature, °C                                         | 160,0                                                                         | 160,0 | 160,0 | 160,0 | 160,0 | 160,0 | 160,0 |
| Время оптимума вулканизации, мин<br>Optimum vulcanization, min                                       | 26,0                                                                          | 26,0  | 26,00 | 26,0  | 26,0  | 26,0  | 21,0  |
| Условная прочность при растяжении, МПа<br>Conditional tensile strength, MPa                          | 15,9                                                                          | 23,8  | 22,5  | 20,7  | 14,8  | 9,1   | 24,1  |
| Условное напряжение при удлинении 100%, МПа<br>Nominal elongation tension of 100%, MPa               | 1,9                                                                           | 2,8   | 3,7   | 5,9   | 8,9   | -     | 3,9   |
| Относительное удлинение при разрыве, %<br>Elongation at break, %                                     | 850,0                                                                         | 600,0 | 420,0 | 250,0 | 150,0 | 90,0  | 450,0 |
| Относительное остаточное удлинение, %<br>Relative residual elongation, %                             | 60                                                                            | 20    | 8     | 4     | 0     | 0     | 8,0   |
| Твердость Шор А   Shore A Hardness                                                                   | 57–60                                                                         | 59–63 | 65–67 | 69–71 | 75–77 | 77–80 | 67–70 |
| Т хрупкости °С   fragility temperature °C                                                            | -45                                                                           | -51   | -56   | -59   | -52   | -51   | -50,0 |
| ОДС 20%, 100°С, 72 ч.<br>residual compression deformation 20%, 100°С, 72 ч                           | 71,5                                                                          | 63,1  | 57,4  | 36,1  | 36,6  | 39,6  | 74,1  |
| Набухание в СЖР-3, 24 ч 100°С, %<br>Swelling in CZHR-3, 24h 100°С, %                                 | -                                                                             | -     | -     | 7,4   | -     | -     | 8,8   |
| Объемная доля каучука в набухшем вулканизате<br>Volume fraction of rubber in the swollen vulcanizate | 0,066                                                                         | 0,108 | 0,139 | 0,187 | 0,236 | 0,256 | 0,140 |
| Равновесная степень набухания   Balanced degree of swelling                                          | 14,198                                                                        | 8,237 | 6,198 | 4,341 | 3,252 | 0,256 | 6,124 |

Таблица 3.

Физико-механические свойства вулканизатов

Table 3.

Physico-mechanical properties of vulcanizates

| Показатели<br>Indicators                                                              | Шифры образцов   Sample codes |       |        |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                                                                                       | 2С                            | 2СВ5  | 2СВ10  | 3П    | 3ПВ5  | 3ПВ10 |
| Условная прочность при растяжении, МПа<br>Conditional tensile strength, MPa           | 21,0                          | 29,4  | 19,4   | 26,0  | 16,5  | 28,5  |
| Относительное удлинение при разрыве, %<br>Elongation at break, %                      | 450                           | 410   | 410    | 250   | 200   | 290   |
| Твердость по Шору А усл. ед.   Shore A Hardness                                       | 67–70                         | 67–70 | 67–670 | 69–71 | 67–68 | 63–65 |
| Стойкость к агрессивным средам СЖР-3 24 ч, 100 °С<br>Swelling in CZHR-3, 24h 100°С, % | 8,8                           | 9,9   | -      | 7,4   | -     | 11,9  |
| Т хрупкости °С   fragility temperature °C                                             | -50                           | -     | -      | -51   | -     | -     |

Благодаря дополнительной механоактивации пероксида перед введением его в резиновую смесь наблюдается уменьшение температурного предела хрупкости вулканизатов.

Для выбранной модельной смеси значительно улучшились показатели температурного предела хрупкости и ОДС. Оптимальная дозировка составила от 3 до 5 мас. ч. пероксида. Также установлено, что при его дозировке 3 мас. части, вулканизаты демонстрируют комплекс физико-механических свойств, находящийся практически на одном уровне с вулканизатами в присутствии серы.

Для изучения влияния ранее не применявшийся для модификации эластомерных композиций технологической добавки – полукристаллического со-полимера этилена и пропилена под торговой маркой Vistamaxx 6102 с варьированием от 5 до 10 мас. ч., В качестве

модельных смесей были выбраны смесь с содержанием органического пероксида 5 мас. частей и смесь содержащая серную вулканизирующую группу.

Модификация стандартной резиновой смеси на основе БНКС-40 показывает, что введение Vistamaxx 6102 в дозировках от 5 до 10 мас. ч. оказывает влияние на физико-механические показатели. При его введении в количестве 5 мас. ч. с вулканизирующей группой, содержащей серу, происходит повышение показателя условной прочности на разрыв с 21,0 МПа до 29,4 МПа, но снижается относительное удлинение с 450 до 410%. Твёрдость по Шору А остается почти без изменений на уровне 67–70 усл. ед.

При вулканизации резиновой смеси пероксидом Luperox F-40, при дозировке Vistamaxx 6102 в количестве 10 мас. ч., наблюдается незначительное увеличение показателя

условной прочности при растяжении с 26,0 до 28,5 МПа и относительного удлинения с 250 до 290%. При том, что твердость по Шору А снижается в пределах нескольких единиц до 63–65 усл. ед. Также установлено незначительное повышение стойкости к агрессивным средам при введении Vistamaxx 6102 в сочетании с дибутилсебагинатом по сравнению с исходной смесью (среда СЖР-3, температура 100 °С, экспозиция 24 ч).

Для повышения низкотемпературных свойств резин на основе нитрильных каучуков, было исследовано влияние технологической добавки – стирол-этилен-бутилен-стирольного сополимера (СЭБС). Экспериментальные рецептуры резиновых смесей, представленные в таблице 4. Физико-механические свойства вулканизатов представлены в таблице 5.

Состав резиновых смесей

Таблица 4.

Table 4.

Composition of rubber compounds

| Ингредиент<br>Ingredient                                   | Шифры образцов и содержание ингредиентов, масс. ч.<br>Sample codes and ingredient content, phr |       |       |       |       |       |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                            | 18                                                                                             | 28    | 40    | 18П   | 28П   | 40П   |
| Каучук БНКС-40АМН   Rubber BNKS-40AMN                      | -                                                                                              | -     | 100,0 | -     | -     | 100,0 |
| БНКС-28АМН   Rubber BNKS-28AMN                             | -                                                                                              | 100,0 | -     | -     | 100,0 | -     |
| БНКС-18АМН   Rubber BNKS-18AMN                             | 100,0                                                                                          | -     | -     | 100,0 | -     | -     |
| Белила цинковые   Zinc oxide                               | 5,0                                                                                            | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   |
| Luperox F-40                                               | 3,0                                                                                            | 3,0   | 3,0   | 5,0   | 5,0   | 5,0   |
| Стеариновая кислота   Stearic acid                         | 1,0                                                                                            | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0   | 1,0   |
| Технологическая добавка СЭБС   Technological additive SEBS | 20,0                                                                                           | 20,0  | 20,0  | -     | -     | -     |
| Дибутилсебагинат   Dibutyl sebacate                        | 10,0                                                                                           | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  | 10,0  |
| Технический углерод П324 (N330)   Carbon black П324 (N330) | 40,0                                                                                           | 40,0  | 40,0  | 40,0  | 40,0  | 40,0  |
| Итого   Total                                              | 179,0                                                                                          | 179,0 | 179,0 | 151,0 | 151,0 | 151,0 |

Таблица 5.

Физико-механические свойства вулканизатов (Режим вулканизации 160 °С × 26 мин)

Table 5.

Physico-mechanical properties of vulcanizates (Vulcanization mode 160 °С × 26 min)

| Показатели<br>Indicators                                                                                                    | Шифры образцов и значение показателей<br>Sample codes and value of indicators |       |       |              |              |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------------|--------------|-------|
|                                                                                                                             | 18                                                                            | 28    | 40    | 18П          | 28П          | 40П   |
| Условная прочность при растяжении, МПа   Conditional tensile strength, MPa                                                  | 10,4                                                                          | 13,5  | 17,1  | 7,6          | 13,1         | 20,7  |
| Условное напряжение МПа, при удлинении 50%<br>Nominal elongation tension of 50%, MPa                                        | 1,6                                                                           | 1,5   | 1,4   | 3,5          | 3,2          | 5,9   |
| Условное напряжение МПа, при удлинении 100%<br>Nominal elongation tension of 100%, MPa                                      | 2,9                                                                           | 2,6   | 2,4   | 7,4          | 6,7          | 14,6  |
| Относительное удлинение при разрыве, %   Elongation at break, %                                                             | 280,0                                                                         | 350,0 | 460,0 | 105,0        | 170,0        | 250,0 |
| Твердость ШОРА   Shore A Hardness                                                                                           | 62–64                                                                         | 62–63 | 61–63 | 63–66        | 65–67        | 67–69 |
| Т хрупкости °С   fragility temperature °С                                                                                   | -53                                                                           | -46   | -37   | -71          | -71          | -59   |
| ОДС 20%, 100°С, 72 ч.   residual compression deformation 20%, 100°С, 72 ч                                                   | -                                                                             | -     | -     | 31,7         | 35,9         | 36,1  |
| Стойкость к агрессивным средам СЖР – 3 24 ч 100°С, %<br>Swelling in CZHR-3, 24h 100°С, %                                    | 45,6                                                                          | 20,6  | 10,2  | 37,3         | 15,9         | 7,4   |
| Объемная доля каучука в набухшем вулканизате<br>Volume fraction of rubber in the swollen vulcanizate                        | -                                                                             | -     | -     | -            | -            | 0,187 |
| Равновесная степень набухания   Balanced degree of swelling                                                                 | -                                                                             | -     | -     | -            | -            | 4,341 |
| Коэффициент морозостойкости   Coefficient of frost resistance<br>Кв при -45 °С / K at -45 °С<br>Кв при -25 °С / K at -45 °С | 0,46                                                                          | 0,07  | 0,15  | 0,20<br>0,82 | 0,17<br>0,59 | 0,11  |

Закключение

В результате проделанной работы достигнуты следующие результаты:

Исследованы свойства вулканизатов стандартных резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильных каучуков с различным содержанием нитрилакриловой кислоты. Определены их реологических свойств в зависимости от вида вулканизирующего агента. Изучены физико-механических и низкотемпературных свойств полученных вулканизатов.

Проведено исследование влияния вида вулканизирующего агента в резиновой смеси на

основе полярных каучуков на низкотемпературные свойства вулканизатов.

Исследованы рецептуры резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука, модифицированных полукристаллическим и стирол-бутилен-стирольного блок-сополимера. Изучены физико-механических свойства полученных материалов.

Предложены рецептурно-технологические решения, обеспечивающие повышение морозостойкости полимерных композиционных материалов на основе эластомеров, эксплуатируемых в условиях низких температур

## Литература

- 1 Бузник В.М., Бурковская Н.П., Зибарева И.В. Арктическое материаловедение. 2018. № 3. С. 44.
- 2 Рогозин Д.О. Северный полюс будет обустроен и заселен // Российская Федерация сегодня. 2016. № 12. С. 36.
- 3 Бузник В.М., Василевич Н.И. Материалы для освоения арктических территорий-вызовы и решения // Лаборатория и производство. 2020. № 1. С. 98–107.
- 4 Лепов В.В., Охлопкова А.А. Разработки в области северного и арктического материаловедения для промышленности Республики Саха (Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28. № 4. С. 627–640. doi:10.31242/2618-9712-2023-28-4-627-640
- 5 Павлова В.В., Соколова М.Д. Исследование влияния пластификаторов на эксплуатационные свойства резин на основе эпихлоргидринового каучука // Новые материалы и технологии в условиях Арктики. 2022. С. 185.
- 6 Павлова В.В., Соколова М.Д., Федорова А.Ф. Влияние содержания и природы пластификатора на свойства бутадиен-нитрильной резины // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2021. Т. 14. № 2. С. 222–232.
- 7 Павлова В.В., Федорова А.Ф., Соколова М.Д. Исследование влияния ДОФ и ДОТФ на эксплуатационные свойства резин на основе бутадиен-нитрильного каучука // Вклад ДИ Менделеева в развитие фундаментальных наук, в углубление и расширение образования для устойчивого развития. 2019. С. 209–212.
- 8 Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. Морозостойкая резина на основе комбинации бутадиен-нитрильного и гидриновых каучуков // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2017. Т. 60. № 8. С. 60–64.
- 9 Прокопьев А.М. Исследование климатического старения резин на основе фторкаучука и смесей бутадиен-нитрильного и диеновых каучуков // Редакционная коллегия. 2022. С. 918.
- 10 Боброва И.И., Котова С.В., Наумова Ю.А. Влияние экологических масел Фитонорман на адгезионные свойства морозостойких резин на основе бутадиен-нитрильного каучука // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 2. С. 189–197.
- 11 Мухин В.В., Петрова Н.Н., Маскалюняйте О.Е. Сравнительная оценка климатической стойкости резин на основе эпихлоргидринового и бутадиен-нитрильного каучука // механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций. 2018. С. 252–253.
- 12 Нагорная М.Н. Влияние пластификаторов на свойства маслобензоморозостойких резин // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. 2022. С. 121–122.
- 13 Петрова Н.Н., Портнягина В.В. Влияние размера частиц и концентрации фторсодержащего полимера на свойства морозостойких резин на основе пропиленоксидного каучука // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020. Т. 25. № 1. С. 101–117. doi:10.31242/2618-9712-2020-25-1-11
- 14 Резников М.С., Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Сандалов С.И. Исследование влияния технологических добавок на свойства резин на основе эпихлоргидриновых и пропиленоксидных каучуков // Каучук и резина. 2016. № 1. С. 18–21.
- 15 Ушмарин Н. Ф., Егоров Е. Н., Кольцов Н. И. Морозостойкая резина на основе комбинации бутадиен-нитрильного и гидриновых каучуков // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2017. Т. 60. № 8. С. 60–64.
- 16 Гресь И.М., Демидов Д.В., Востриков Д.С. Исследование низкотемпературных свойств и стойкости к действию авиационного керосина эластомеров на основе пропиленоксидного и эпихлоргидринового каучуков // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017. № 11(206). С. 113–117.
- 17 Yu J. Liu, S., Cardoso, A., Han, Y. et al. Catalytic pyrolysis of rubbers and vulcanized rubbers using modified zeolites and mesoporous catalysts with Zn and Cu // Energy. 2019. Т. 188. С. 116117.
- 18 Кахраманов Н. Т. Касумова, Г. Ш., Осипчик, В. С., Гаджиева, Р. Ш. Износостойкие полимерные материалы. Структура и свойства // Пластические массы. 2017. № 11-12. С. 8-15.
- 19 Klyuchnikov O. R., Klyuchnikov Y. O. Vulcanization of Elastomers with Quinol Ethers of P-Benzoquinone Dioxime // Key Engineering Materials. 2021. Vol. 899. P. 479-485.
- 20 Хорова Е.А., Раздьяконова Г.И., Ходакова С.Я. Влияние структуры гидрированного бутадиен-нитрильного каучука на стойкость к воздействию агрессивных сред и повышенных температур // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 6-й международной науч.-техн. конф. Омск, 2016. С. 155–156.
- 21 Sang J., Aisawa S., Hirahara H., Mori K. Primary process to fabricate functional groups on acrylonitrile-butadiene rubber surface during peroxide curing // Chemical Engineering Journal. 2016. V. 287. P. 657-664.
- 22 Чайкун А. М. Наумов И. С., Венедиктова М. А., Алифанов Е. В. Новые разработки резин специального назначения на основе фторсилоксановых каучуков // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 3 (42). С. 60-65.
- 23 Елисеев О. А. Чайкун А. М., Бузник В. М., Соколова М. Д и др. Основные принципы построения рецептур морозостойких резин для изделий, эксплуатируемых в условиях арктического климата // Перспективные материалы. 2015. № 11. С. 5-18.
- 24 Чайкун А.М., Алифанов Е.В., Наумов И.С. Эластомерные материалы для применения в топливных и масляных системах (обзор) // Новости материаловедения. Наука и техника. 2018. № 3–4. С. 7.
- 25 Бутадиен-нитрильные каучуки от СИБУР. URL: <https://nitrile.sibur.ru>
- 26 ГОСТ Р 54547–2011 Смеси резиновые. Определение вулканизационных характеристик с использованием безртотных реометров. М: Стандартинформ, 2013. 16 с.

## References

- 1 Buznik V.M., Burkovskaya N.P., Zibareva I.V. Arctic materials science. 2018. no. 3. pp. 44. (in Russian).
- 2 Rogozin D.O. The North Pole will be equipped and inhabited //The Russian Federation today. 2016. no. 12. pp. 36. (in Russian).
- 3 Buznik V.M., Vasilevich N.I. Materials for the development of Arctic territories – challenges and solutions //Laboratory and production. 2020. no. 1. pp. 98–107. (in Russian).
- 4 Lepov V.V., Okhlopko A.A. Developments in the field of northern and Arctic materials science for the industry of the Republic of Sakha (Yakutia) // Natural Resources of the Arctic and Subarctic. 2023. Vol. 28. no. 4. pp. 627-640. doi:10.31242/2618-9712-2023-28-4-627-640 (in Russian).
- 5 Pavlova V.V., Sokolova M.D. Investigation of the effect of plasticizers on the performance properties of rubber based on epichlorohydrin rubber //New materials and technologies in the Arctic. 2022. pp. 185. (in Russian).
- 6 Pavlova V.V., Sokolova M.D., Fedorova A.F. Influence of the content and nature of plasticizer on the properties of butadiene-nitrile rubber //Journal of the Siberian Federal University. Machinery and technology. 2021. Vol. 14. no. 2. pp. 222–232. (in Russian).
- 7 Pavlova V.V., Fedorova A.F., Sokolova M.D. Investigation of the effect of DOF and DOTF on the performance properties of rubbers based on butadiene-nitrile rubber //D. Mendeleev's contribution to the development of fundamental sciences, to the deepening and expansion of education for sustainable development. 2019. pp. 209–212. (in Russian).
- 8 Ushmarin N.F., Egorov E.N., Koltsov N.I. Frost-resistant rubber based on a combination of butadiene-nitrile and hydrene rubbers //News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2017. Vol. 60. no. 8. pp. 60–64.
- 9 Prokopyev A.M. Study of climatic aging of rubber based on fluorocarbon rubber and mixtures of butadiene-nitrile and diene rubbers //The Editorial board. 2022. pp. 918. (in Russian).
- 10 Bobrova I.I., Kotova S.V., Naumova Yu. A. The effect of eco-friendly Phytonormane oils on the adhesive properties of frost-resistant rubbers based on butadiene-nitrile rubber. //Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2023. Vol. 85. no. 2. pp. 189–197. (in Russian).
- 11 Mukhin V.V., Petrova N.N., Maskalyunaite O.E. Comparative assessment of climatic resistance of rubbers based on epichlorohydrin and butadiene-nitrile rubber //mechanics, resource and diagnostics of materials and structures. 2018. pp. 252–253. (in Russian).
- 12 Nagornaya M.N. The effect of plasticizers on the properties of oil and gasoline resistant rubbers //Equipment and technology of petrochemical and oil and gas production. 2022. pp. 121–122. (in Russian).
- 13 Petrova, N.N., Portnyagina V.V. The effect of particle size and concentration of a fluorinated polymer on the properties of frost-resistant rubbers based on propylene oxide rubber // Natural Resources of the Arctic and Subarctic. 2020. Vol. 25. No. 1. pp. 101-117. doi:10.31242/2618-9712-2020-25-1-11 (in Russian).
- 14 Reznikov M.S., Ushmarin N.F., Egorov E.N., Sandalov S.I. Investigation of the effect of technological additives on the properties of rubbers based on epichlorohydrin and propylene oxide rubbers. 2016. no. 1. pp. 18-21. (in Russian).
- 15 Ushmarin N. F., Egorov E. N., Koltsov N. I. Frost-resistant rubber based on a combination of butadiene-nitrile and hydrene rubbers //News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2017. Vol. 60. no. 8. pp. 60-64. (in Russian).
- 16 Gres I.M., Demidov D.V., Vostrikov D.S. Investigation of low-temperature properties and resistance to aviation kerosene of elastomers based on propylene oxide and epichlorohydrin rubbers // Izvestiya Volgograd State Technical University. 2017. no. 11(206). pp. 113-117. (in Russian).
- 17 Yu J. Liu, S., Cardoso, A., Han, Y. et al. Catalytic pyrolysis of rubbers and vulcanized rubbers using modified zeolites and mesoporous catalysts with Zn and Cu //Energy. 2019. Vol. 188. pp. 116117.
- 18 Kakhramanov N. T. Kasumova, G. S., Osipchik, V. S., Gadzhieva, R. S. Wear-resistant polymer materials. Structure and properties //Plastic masses. 2017. no. 11-12. pp. 8-15. (in Russian).
- 19 Klyuchnikov O. R., Klyuchnikov Y. O. Vulcanization of Elastomers with Quinol Ethers of P-Benzoquinone Dioxime //Key Engineering Materials. 2021. Vol. 899. pp. 479-485.
- 20 Khorova E.A., Razdiakonova G.I., Khodakova S.Ya. Influence of the structure of hydrogenated butadiene-nitrile rubber on resistance to aggressive media and elevated temperatures // Technique and technology of petrochemical and oil and gas production: Materials of the 6th International Scientific and Technical Conference. conf. Omsk, 2016. pp. 155-156. (in Russian).
- 21 Sang J., Aisawa S., Hirahara H., Mori K. Primary process to fabricate functional groups on acrylonitrile-butadiene rubber surface during peroxide curing //Chemical Engineering Journal. 2016. Vol. 287. pp. 657-664.
- 22 Chaikun A.M., Naumov I. S., Venediktova M. A., Alifanov E. V. New developments in special-purpose rubbers based on fluorosiloxane rubbers //Aviation Materials and Technologies. 2016. no. 3 (42). pp. 60-65. (in Russian).
- 23 Eliseev O. A. Chaikun, A.M., Buznik, V. M., Sokolova, M. D. et al. The basic principles of constructing formulations of frost-resistant rubbers for products used in the Arctic climate //Promising materials. 2015. no. 11. pp. 5-18. (in Russian).
- 24 Chaikun A.M., Alifanov E.V., Naumov I.S. Elastomeric materials for use in fuel and oil systems (review) //Materials Science news. Science and technology. 2018. no. 3–4. pp. 7. (in Russian).
- 25 Butadiene-nitrile rubbers from SIBUR, URL: <https://nitrile.sibur.ru> (in Russian).
- 26 State Standart R 54547–2011 Rubber mixtures. Determination of vulcanization characteristics using rotorless rheometers. Standartinform, 2013. 16 p. (in Russian).

## Сведения об авторах

**Анна С. Пушница** аспирант, МИРЭА, Российский технологический университет, Малая Пироговская, д.1, стр.5, г. Москва, 119435, Россия, apushnitsa@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4417-4371>

**Валерий В. Власов** к.т.н., доцент, кафедра химической технологии биологически активных веществ и полимерных композитов, Ярославский государственный технический университет, пр-т Московский, 88, г. Ярославль, 150023, Россия, ganghubas@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1057-8167>

**Александр С. Москалев** к.т.н., доцент, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, kaf-tospp@vsuet.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3403-3850>

## Вклад авторов

**Анна С. Пушница** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

**Валерий В. Власов** консультация в ходе исследования

**Александр С. Москалев** предложил методику проведения эксперимента

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Information about authors

**Anna S. Pushnitsa** PhD student, MIREA, Russian Technological University, Malaya Pirogovskaya, 1, p. 5, Moscow, 119435, Russia, apushnitsa@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4417-4371>

**Valeriy V. Vlasov** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemical technology of biologically active substances and polymer composites department, Yaroslavl State Technical University, Moskovsky Ave., 88, Yaroslavl, 1509999, Russia, ganghubas@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1057-8167>

**Alexandr S. Moskalev** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of organic compounds and polymer processing department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kaf-tospp@vsuet.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3403-3850>

## Contribution

**Anna S. Pushnitsa** All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

**Valeriy V. Vlasov** consultation during the study

**Alexandr S. Moskalev** proposed a scheme of the experiment and organized production trials

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 23/10/2024 | После редакции 13/11/2024      | Принята в печать 25/11/2024 |
| Received 23/10/2024  | Accepted in revised 13/11/2024 | Accepted 25/11/2024         |

## Требования к оформлению материалов для журнала «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий»

Редакция просит авторов в подготовке рукописей руководствоваться изложенными ниже правилами. Рукописи, оформленные без соблюдения данных правил, редакцией рассматриваться не будут.

### ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РУКОПИСЕЙ И ЗАЯВЛЕНИЕ НА РАССМОТРЕНИЕ

Представление рукописи в журнал «ВЕСТНИК ВГУИТ» для печати предполагает, что:

- 1) описанная в ней работа ранее не была опубликована;

- 2) она не рассматривается для публикации в ином издательстве;

- 3) ее публикация была одобрена всеми авторами и так или иначе взаимосвязанными организациями, в которых эта работа проводилась;

- 4) в случае принятия к публикации эта статья не будет опубликована где-либо еще в той же форме, на английском или на любом другом языке, в том числе и в электронном виде.

Представление статьи проводят через официальный сайт издания путем прохождения регистрации (<http://www.vestnik-vsu.ru/vguit/user/register>).

В состав электронной версии статьи должны входить:

1. Рукопись статьи оформленная строго в шаблоне редакции в формате Word 2007–2016. Word 2003 – **НЕ Принимается**
2. табличный материал в виде отдельного файла (**только при условии** когда объем одной таблицы превышает полную страницу журнальной статьи)
3. иллюстрации в **исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества)** предпочтение, при этом отдается векторным форматам: **eps, svg, ai, pdf**, растровый формат изображений (с сжатием): форматы **png, jpeg и пр.** не прикреплять. Минимальное разрешение рисунков и графиков **600 dpi**. Это требование необходимо для повышения типографского качества печатной версии издания.

Если авторов несколько, то необходимо указать автора, которому будет адресована корреспонденция, и его контактные данные: адрес, номер телефона/факса, а также адреса электронной почты всех авторов.

**ВНИМАНИЕ:** Авторы несут полную ответственность за достоверность и оригинальность информации, предоставленной в рукописи. Все рукописи проходят проверку на наличие заимствований в системе «Антиплагиат». Оригинальность рукописи должна быть не менее 80%, в противном случае рукопись будет возвращена без права опубликования. При обнаружении нарушения авторских прав или плагиата будет проведена ретракция опубликованных статей в соответствии с правилами COPE.

### ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ

Статьи в журнале «ВЕСТНИК ВГУИТ» издаются на русском языке с реферат на английском языке. По согласованию с редакцией допускается публикация статьи и на английском языке.

Вся статья (текст, таблицы, примечания, заголовки, иностранные вставки, список литературы, подрисуночные подписи и др.) набирается на компьютере в соответствии со стилями форматирования **шаблона журнала для MS Word 2007-2016**.

Версия статьи выполненная средствами MS Word 2003 **НЕ принимаются**.

Объем статьи, включая список литературы и подрисуночные подписи, не должен превышать: для работ, имеющих общее значение 5–20 страниц текста, для кратких сообщений до 3 стр.

## ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ СТАТЬИ

### I. ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ

Рукописи оригинальных исследований представляются по общепринятой международной схеме (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) и в статье должны найти отражение следующие рубрики:

**Введение** - кратко излагается современное состояние вопроса и обосновывается актуальность исследования. Дается критическая оценка литературы, имеющей отношение к рассматриваемой проблеме. Данная оценка разграничивает нерешенные вопросы. Ставятся четко сформулированные цели и задачи, поясняющие дальнейшее исследование в конкретной области;

**Материалы и методы** - дается достаточно подробное описание работы, для ее возможного воспроизведения. Методы, опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками: автором описываются только относящиеся к теме изменения.

**Результаты** - описываются в логической последовательности в виде отдельных фрагментов, разделенных подзаголовками, без элементов обсуждения, без повторения методических подробностей, без дублирования цифровых данных, приведенных в таблицах и рисунках.

**Обсуждение** - в разделе проводится детальный анализ полученных данных в сопоставлении с данными литературы, что служит обоснованием выводов и заключений авторов.

**Заключение** - подводятся основные итоги работы, приводятся рекомендации и указание на дальнейшие возможные направления исследований.

Для обзорных статей должны быть указаны *Введение* и в соответствии со стандартом PRISMA указать стратегию поиска литературы (<http://www.prisma-statement.org>).

Таблицы объема больше одной страницы указывать как Приложение в виде отдельного файла, так как они не будут опубликованы в печатной версии, а будут прикладываться в виде отдельного файла к электронной версии.

Названия и содержание рисунков (все подписи внутри) и таблиц (столбцов и строк) должны быть приведены как на русском, так и на английском языках.

Графический материал представляется в исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества) предпочтение, при этом отдается векторным форматам: eps, svg, ai, pdf, исключение фотографии в растровом формате (сжатием): png, jpeg и пр. Минимальное разрешение рисунков и графиков 600 dpi.

Файлы Excel -- внедрены в текст статьи, с возможностью редактирования.

### II. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

Список литературы оформляется согласно Приложению 1, 2.

Цитируемая литература должна содержать не менее 10 источников, и не менее 5 ссылок на иностранные источники. В списке литературы должны быть опубликованы работы за последние пять лет, в том числе в журналах, индексируемых в базах данных *ScienceDirect*, *Web of Science*, *Scopus*, *Science Index*. Лишь в случае необходимости допустимы ссылки на более ранние труды. Справочная литература не старше 10 лет.

В список литературы **НЕ включаются** учебные пособия, нормативные и архивные материалы, статистические сборники, газетные заметки без указания автора, монографии, авторефераты и диссертации. В цитируемой литературе желательно указывать источники с DOI.

Вместо ссылок на материалы диссертаций и авторефератов диссертаций, рекомендуется ссылаться на оригинальные статьи по теме диссертационной работы, так как сами диссертации рассматриваются как рукописи и не являются печатными источниками.

Самоцитирование **НЕ более** 2-х ссылок.

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: <http://vestnik.vsu.ru/>

### **III. ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА**

Статьи, принимаемые к публикации в журнале «*ВЕСТНИК ВГУИТ*», должны излагать наиболее существенные, законченные и еще ранее неопубликованные результаты научных исследований.

О публикационной этике и этических нормах для публикации в журнале «*ВЕСТНИК ВГУИТ*» см.: <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/about/editorialPolicies#custom-2>

Журнал «Вестник ВГУИТ» выходит 4 раза в год: № 1 – март; № 2 – июнь; № 3 – сентябрь; № 4 – декабрь.

Статья должна быть тщательно проверена и подписана всеми авторами.

К статье должны прилагаться сопроводительные документы:

- сопроводительное письмо;
- экспертное заключение;
- положительная рецензия ведущего ученого в данной области или члена редакционной коллегии серии, заверенная подписью и печатью.

Вопрос об опубликовании статьи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала и ее решение является окончательным. В случае возвращения статьи для исправления датой представления считается день получения исправленного текста. Срок доработки - не более 1 месяца.

Материалы, не соответствующие данным требованиям оформления, к публикации не принимаются. Рукописи авторам не возвращаются.

*Плата с аспирантов и докторантов за публикацию рукописей не взимается.*

### **IV. КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Информацию о стоимости публикации можно узнать в редакции журнала. Также редакция оказывает платные услуги профессионального перевода реферата и ключевых слов на английский язык.

*По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала по контактам:*

*Дерканосова Анна Александровна - кандидат технических наук, доцент кафедры Сервиса и ресторанного бизнеса, начальник Центра коллективного пользования «Контроль и управления энергоэффективными проектами»*

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»*

*Телефон: 8 920 432 16 57*

*E-mail: [post@vestnik-vsuet.ru](mailto:post@vestnik-vsuet.ru), [aa-derk@yandex.ru](mailto:aa-derk@yandex.ru)*

*Адрес 394000, г. Воронеж, пр. Революции, 19, ауд. 11.*

#### **Соответствие рубрик/разделов журнала Вестник ВГУИТ**

**Номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.**

##### **1.1 Процессы и аппараты пищевых производств**

**4.3.1.** Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

##### **1.2 Пищевая биотехнология**

**4.3.3.** Пищевые системы (технические науки)

**4.3.5.** Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

##### **2. Химическая технология**

**2.6.7.** Технология неорганических веществ (технические науки)

**2.6.7.** Технология неорганических веществ (химические науки)

**2.6.10.** Технология органических веществ (химические науки)

**2.6.10.** Технология органических веществ (технические науки)

**2.6.11.** Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (химические науки)

**2.6.11.** Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

**2.6.12.** Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки)

**2.6.13.** Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

**2.6.13.** Процессы и аппараты химических технологий (физикоматематические науки)

## ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

### СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ:

#### (кол-во авторов от 1 до 4):

Буянова И.В., Имангалиева Ж.К. Агрегат для тонкого измельчения творога // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 23–26.

#### (кол-во авторов более 4):

Семенов Е.В., Бабакин Б.С., Воронин М.И., Белозёров А.Г. и др. Математическое моделирование процесса охлаждения хладоносителя системой замороженных шаров // Вестник Международной академии холода. 2016. № 4. С. 74–79.

### СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ С DOI:

#### (кол-во авторов от 1 до 4):

Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю. Закономерности ингибирования культуры *Salmonella* // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 209–212. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-209-212

#### (кол-во авторов более 4):

Шарова Н.Ю., Принцева А.А., Манжиева Б.С., Выборнова Т.В. и др. Ферменты гидролитического действия в технологиях переработки некондиционного крахмалсодержащего сырья // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

### СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ:

Содержание и технологии образования взрослых: проблема опережающего образования: сб. науч. тр. / Институт образования взрослых Рос. акад. образования; под ред. А.Е. Марона. М.: ИОВ, 2007. 118 с.

### МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, ФОРУМОВ, СОВЕЩАНИЙ, СЕМИНАРОВ:

Цветкова И.И., Сводцева И.А. Индикаторный подход к оценке кадровой безопасности в системе экономической безопасности предприятия // Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации: мат. XVII науч.-практ. конф., Гурзуф, Ялта, 04 декабря 2015 г. Симферополь: Ариал, 2016. С. 110–112.

### КНИГА, МОНОГРАФИЯ:

#### (кол-во авторов от 1 до 4):

Румянцева З.П. Менеджмент организаций. М.: Инфра-М, 2015. 432 с.

#### (кол-во авторов более 4):

Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Успенская М.Е., Попова Я.А. и др. Комплексная переработка кроликов: традиции и инновации: монография. Воронеж, 2017. 377 с.

### ДИССЕРТАЦИЯ

Пономаренко Ю.А. Нетрадиционные корма и биологически активные вещества в рационах цыплят-бройлеров и кур-несушек: дис... д-ра с.-х. наук. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2017. 437 с.

### АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ушакова А.С. Разработка комплексной технологии переработки сушеного плодово-ягодного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: Кемер. технол. ин-т пищевой пром., 2017. 22 с.

### НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ:

#### порядок описания:

Заглавие официального документа: сведения, относящиеся к заглавию (указ, постановление), Дата принятия документа / Название издания. Год издания. Количество страниц.

#### пример:

ГОСТ 5900–2014. Изделия кондитерские. Определение массовой доли влаги и сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.

### ПАТЕНТ:

#### порядок описания:

Обозначение вида документа, номер, название страны, индекс международной классификации изобретений. Название изобретения / И.О.Фамилия изобретателя, заявителя, патентовладельца; Наименование учреждения-заявителя. Регистрационный номер заявки; Дата подачи; Дата публикации, сведения о публикуемом документе.

#### пример:

Пат. № 2689672, RU, A23L 5/00. Способ комплексной переработки семян сои с выделением белоксодержащих фракций / Четверикова И.В., Шевцов А.А., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. № 2018107149; Заявл. 26.02.2018; Опубл. 01.07.2019. Бюл. № 19.

### ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

#### порядок описания:

Фамилия И.О. автора (если указаны). Название ресурса. Место издания: Издательство, год издания (если указаны). Адрес локального сетевого ресурса.

#### пример:

Лапидус Л.В. Центр компетенций цифровой экономики. Ассоциация граждан и организаций по содействию развитию корпоративного образования. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

## ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ:

### СТАТЬЯ ИЗ ЖУРНАЛА:

#### порядок описания:

Фамилия И.О. автора (транслитерация). Перевод названия статьи на английский. Перевод названия источника на английский язык. Год, том, номер, страницы (от-до). Указание на язык статьи (in Russian) после описания статьи.

#### пример:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

### СТАТЬЯ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Plyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

### СТАТЬЯ ИЗ ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/>

### СТАТЬЯ ИЗ ПРОДОЛЖАЮЩЕГОСЯ ИЗДАНИЯ (СБОРНИКА ТРУДОВ):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

### МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

### КНИГИ (МОНОГРАФИИ, СБОРНИКИ):

(кол-во авторов от 1 до 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

### ДИССЕРТАЦИЯ ИЛИ АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

### ГОСТ:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

### ПАТЕНТ:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

### ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/> (in Russian).

# **List of requirements of drawing up materials in «Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies»**

**Editorial Board asks the authors to stick to the following rules in writing the papers, otherwise they may be rejected. Submitting the manuscripts for the review.**

Submitting the article for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" includes: the paper has not been previously published; it is not being considered for publication in another publishing house; its publication has been approved by all authors and interlinked organizations in which this work was carried out; in case of the approval for publication the paper will not be published elsewhere in the same form, in English or any other language, including electronic form.

Submission form (application) for the publication of an article in a journal, filled up in accordance with the rules, should be sent to the following address: **19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia** and the electronic version of the paper with an attached manuscript file to an e-mail address [vestnikvgta@mail.ru](mailto:vestnikvgta@mail.ru). Should specify the name of the first author of the article in the subject.

The electronic version of the paper should include: a file containing the text of the article, illustrations, tabular material in a separate file (if the amount of one table exceeds full page) and illustration (files in original format), preference is given to vector formats: eps, svg, ai, pdf.

If there are several authors, you must specify contact details of the authors to whom correspondence shall be addressed: address, phone / fax numbers and e-mail addresses.

The manuscript must be accompanied by a review from a specialist in this field, certified by signature and stamp.

Online application form is also available. The author can use the official website of the journal by completing registration at <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/user/register>).

All articles received by the editorial board of the journal "Proceedings of the VSUET", are subject to mandatory unilateral anonymous ("blind") review (the authors do not know the names of reviewers of the manuscript, and will receive a letter with comments, signed by the chief editor).

After passing the review procedure and the approval of an article for publication, the authors' names and their listed order cannot be changed (addition, deletion, rearrangement). When submitting the final version of the article, please make sure that the list of authors is a complete and listed in a proper order.

**ATTENTION:** The author is solely responsible for the accuracy and originality of the information provided in the article. All manuscripts are checked for the presence of borrowings using "Antiplagiat" system. All manuscripts are tested with ANTIPLAGIAT for testing electronic documents for originality and reveal plagiarisms. The manuscript must comprise at least 80% of originality; otherwise the manuscript will be returned without the right to be published. Upon detection of copyright infringement or plagiarism in already published articles, they will be invalidated in accordance with the rules of COPE.

## **Requirements for structure of the paper**

Articles in the journal "Proceedings of the VSUET" are published in Russian with English summary. In agreement with the editors, the publication may be done entirely in English.

By agreement, the editors accept publication of the article in English.

Full article (tables, text, footnotes, headers, inserts in a foreign language, references, captions, etc..) must be typed on a computer: in accordance with journal template formatting styles for MS Word 2007-2016..

The volume of the article, including references and captions must not exceed: for work of a common significance: from 5 to 20 pages, for news reports to 3 pages.

***The manuscript should be structured to the following plan:***

- *Type of article (original article, review article, short message or letter);*
- *UDC (Universal Decimal classification);*
- *DOI - numeric identifier (provided by the editors available for an extra fee);*
- *Full title of the article;*

- First name (full), patronymic name (initials) and surname (full) of the author (s) e-mail;
- Name of the department (for a university) / laboratory (for Scientific Research Institute), the full name of the workplace, city, country;
- Abstract;
- Keywords;
- For reference (filled automatically);
- Structured text of the article;
- Thanks / acknowledgements;
- List of resources used (bibliography);
- Information about the authors;
- Contribution;
- Conflict of interest.

The English version of the article title, first name, patronymic initial and last name of the authors, the full names of all workplaces, structured summaries and keywords must be given below a resume and keywords in Russian.

**The editors reserve the right to correct the translation. It is recommended to take the help of a professional translator to avoid mistakes in compiling the English version of resume.**

## **REQUIREMENTS TO THE CONTENT**

### **I THE TITLE PAGE INCLUDES:**

**Article type**

**UDK**

**DOI:**

***TITLE OF THE ARTICLE.*** Title of work should be as short as possible (no more than 120 characters), and should accurately reflect its content. It is important to avoid titles in the form of interrogative sentences, as well as titles with an ambiguous meaning. Must use only standard abbreviations (acronyms). Must not use acronyms in the title. Full term should precede the first use of the acronym in the text.

***FIRST NAME (FULL), PATRONYMIC (INITIAL) AND SURNAME (FULL) OF AUTHOR (S).***

For example: **Aleksey D. Ivanov<sup>1</sup>,**

**Ivan A. Petrov<sup>2</sup>**

***FULL NAME OF ALL ORGANIZATIONS*** to which the authors are related. If the authors work in different institutions, the relationship of each author with his organization should be shown by using uppercase numbers, for example:

*Example: Department (Laboratory), University (scientific research institute), city, country.*

### **II. THE MAIN TEXT OF THE ARTICLE**

The manuscripts of original research are submitted under the standard international scheme (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) and article should reflect the following headings:

***Introduction*** - outlines the current state of the problem and the urgency of the study. It is necessary to give a critical assessment of the literature related to the issue. This assessment differentiates outstanding issues. Clear defined goals and objectives must be determined, explaining further research in a particular area;

***Materials and methods*** - a fairly detailed description of the work is given. Previously published methods should be accompanied by a reference note: the author describes the changes related to the subject.

***The results and discussion*** - the results should be clear and concise. Give a convincing explanation of the results and their significance so as the reader can not only independently assess the methodological advantages and disadvantages of the study, but also replicate if necessary.

***Conclusion*** summarizes the main results of the research. The author gives recommendations and guidance on possible areas of further research.

**The name and contents of figures and tables (rows and columns) should be given as in both Russian and English languages.**

### **III ACKNOWLEDGEMENTS:**

(when available - in Russian and English). The author should list persons, organizations, foundations, etc., who contributed help for a research, work and so on. (E.g. financial aid, language (linguistic) aid assistance in writing articles or editing proofreading , etc.)

### **IV. REFERENCES**

Cited bibliography must contain at least 10 sources. Self-citations are allowed no more than 20 percent. At least 50 percent of the sources from the bibliography should be published in the last five years, including in the journals indexed in databases **ScienceDirect**, **Web of Science**, **Scopus**, **Science Index**. Only in case of need the references to earlier works are allowed. The bibliography does not include textbooks, regulatory and archival materials, statistical collections, newspaper notes without the author's name, monographs, abstracts and theses. In the cited literature, it is desirable to specify the sources with **DOI**.

Bibliography (list of resources) is presented in two ways:

1. *Russian along with foreign sources in accordance with GOST 7.0.5-2008 (All Union State standard).*
2. *Transliterated in the Latin alphabet with the translation of source publications into English for the international identification system.*

*Style of links (references):*

In the article, the number of a link is enclosed in square brackets and placed in line with the text. You can give the names of the authors, but the number(s) of the references must always be present. The reference numbers (numbers in brackets) shall be in the reference list in the order in which they appear in text.

*Example:*

«... as shown [3; 6] or Barnaby and Jones [8] obtained a different result ... »

***The author is solely responsible for the accuracy of bibliographic sources, including the English translation.***

#### **1. Russian version - in accordance with *Appendix 1, 2***

References in the Russian version of the article are given in the original language. All references should be made uniformly: only a dot (full stop) without dashes between the parts of description. Symbols № and & are not used; for a number you should use Latin letter N with no point after it; double slash separates the description of a larger document, which refers to the fragment. You should not put dot (full stop) before the double slash // but spaces before and after the double slash // are required.

#### **2. The English (REFERENCES) - in accordance with Harvard standard:**

References in English are primarily necessary to track cited authors and journals. The correct description of the sources used in reference lists is the guarantee that the quoted publication will be taken into account when assessing the scientific work of its authors, and thus the organization, region and country. Quoting a journal determines its scientific level, the credibility, the effectiveness of its Editorial Board, etc.

The names of sources and works are specified in full, without abbreviations. The titles of monographs, collections of articles and conferences are transliterated into Latin alphabet, followed by an English translation in brackets. The website <http://www.translit.ru/> can be used for free transliteration of Russian text in Latin letters (version of BSI).

In the bibliography (**English version**), it is **not allowed** to use separating characters «//», «—» and «№»

***Instead of references to materials of theses and abstracts, it is recommended to include references to the original articles on the subject of the thesis, as the theses themselves are viewed as the manuscripts and are not printed sources.***

### **VI. BASIC ETHICAL PRINCIPLES**

Articles accepted for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" must reveal the most significant, complete and previously unpublished research results.

To learn more on publication ethics and ethical standards for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" please visit the website.: <http://www.vestnik-vsuet.ru/vquit/about/editorialPolicies#custom-2>

The magazine «the Messenger ВГУИТ» leaves 4 times a year: № 1 – March; № 2 – June; № 3 – September; № 4 – December.

The article must be thoroughly checked and signed by all the authors. Name, middle name, last name, address, science degree, position, place of work, telephone number (office and home) E-mail, the person communicate to are pointed out on a separate sheet of paper.

Accompanying deeds should be applied on paper:

- The transmittal letter;
- An extract from the report of faculty meeting with paper recommendation for printing;
- The positive review of the leading scientist in the given area or a member of an editorial board of the series, authenticated by the signature and printing.

The question on paper publication, its deviation is solved by an editorial board of the log and the solution is definitive. In case of refund of paper for correction by representation date it is considered day of reception of the corrected text. Finishing term - no more than 1 month.

The materials mismatching given demands of registration, to the publication are not accepted. Manuscripts are not refunded to authors.

*The pay for the publication of manuscripts is not raised from post-graduate students*

## **VII. CONTACT INFORMATION**

### **scientific and public journal "Proceedings of the VSUET"**

If you have any questions, please contact the editorial office:

*Anna A. Derkanosova - Ph.D., associate professor of department of Service and restaurant business, Head of the Centre for collective use "Control and management of energy efficient projects"*

*FSBEE HE "Voronezh state university of engineering technologies"*

*Tel.: 8 920 432 16 57*

*E-mail: vestnikvgta@mail.ru, aa-derk@yandex.ru*

*Address: 19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia*

## ORDER OF DESCRIPTION OF LINKS IN RUSSIAN

**JOURNAL ARTICLE:**

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 3. P. 23–26.

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 4. P. 74–79.

**ARTICLE WITH DOI:**

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of *Salmonella* Culture // Bulletin of the Voronezh State University. 2018.V. 80. № 4. P. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials // Food Industry. 2019. № 4. P. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

**COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS:**

The content and technology of adult education: the problem of advanced education: collection of scientific papers / Institute for Adult Education Ros. Acad. education; under the editorship of A.E. Marona. M.: JOB, 2007.118 p.

**MATERIALS OF CONFERENCES, FORUMS, MEETINGS, SEMINARS:**

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise // Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation: mat. XVII scientific and practical. conf., Gurzuf, Yalta, December 4, 2015. Simferopol: Arial, 2016. P. 110–112.

**BOOK, MONOGRAPH:**

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations. M.: Infra-M, 2015.432 p.

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storulevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Y.A. et al. Integrated processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p.

**DISSERTATION:**

Ponomarenko Yu.A. Unconventional feeds and biologically active substances in the diets of broilers and laying hens: dis ... Dr. S.-kh. sciences. Sergiev Posad: VNITIP, 2017.443 p.

**SUMMARY OF THE DISSERTATION**

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials: abstract of the diss....cand. tech. sciences. Kemerovo: Kemer. technol. Institute of Food Industry, 2017.22 p.

**REGULATORY DOCUMENTS:**

description order:

Title of an official document: information related to the title (decree, resolution), Date of adoption of the document / Title of publication. The year of publishing. Number of pages.

example:

GOST 5900–2014. Confectionery. Determination of the mass fraction of moisture and solids. M.: Standartinform, 2015. 8 p.

**PATENT:**

description order:

Designation of the type of document, number, name of the country, index of international classification of inventions. Title of invention / name of inventor, applicant, patent holder; Name of applicant institution. Registration number of the application; Date of application; Date of publication, information about the published document.

example:

7 Pat. no. 2689672, RU, A23L 5/00. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions / Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. no. 2018107149; Appl. 26.02.2018; Publ. 01.07.2019. Bull. Number 19.

**ELECTRONIC RESOURCE:**

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

**ENGLISH LANGUAGE DESCRIPTION PROCEDURE:****JOURNAL ARTICLE:**

description order:

Surname I.O. author (transliteration). Translation of the title of the article into English. Translation of the source name into English. Year, volume, number, pages (from-to). An indication of the language of the article (in Russian) after the description of the article.

example:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozarov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

**ARTICLE WITH DOI:**

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

**ARTICLE FROM ELECTRONIC JOURNAL:**

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/>

**ARTICLE FROM CONTINUING PUBLICATIONS (PROCEEDINGS):**

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

**CONFERENCE MATERIALS:**

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

**BOOK, MONOGRAPH:**

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

**DISSERTATION OR SUMMARY OF THE DISSERTATION:**

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

**GOST:**

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

**PATENT:**

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

**ELECTRONIC RESOURCE:**

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/> (in Russian).