

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**

**2022**

*№*

**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**

---

**2022, Том. 84, № 4**

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

---

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ  
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

**Воронеж  
2022**



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**

---

**2022, Vol. 84, No. 4**

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

---

FOUNDED IN 1938  
COMES 4 TIMES PER YEAR

**Voronezh  
2022**





**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

**В журнале представлены статьи по следующим научным специальностям:**

**05.18.00** – Технология продовольственных товаров;

**05.17.00** – Химическая технология;

**08.00.00** – Экономические науки

---

## **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА**

---

**Председатель (Главный редактор):**

**ПОПОВ ВАСИЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ** доктор биологических наук, профессор, профессор РАН, врио ректора, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0003-1294-8686

**Заместители председателя (Зам. главного редактора):**

**КОРНЕЕВА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА** доктор биологических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, проректор 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, проректор 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'Аквила (Аквила, Италия)

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

**МАКСИМЕНКО ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ** доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям, заведующий кафедры 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, зав. кафедрой 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 плодородия, 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 «Луциан Блага» (Сибу, 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, доктор 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 университет (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 КСЕНОФОНТОВИЧ** 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 химия 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)

### **Экономика и управление**

**ХОРЕВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ** (гл. ред.) доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-8438-0607

**АВЕЗОВ АЗИЗУЛЛО ХАБИБОВИЧ** доктор экономических наук, профессор кафедры отраслевых рынков, Худжандский Политехнический институт Таджикского Технического университета им. Академика М.С. Осими (Худжанд, Таджикистан) ORCID: 0000-0002-5867-648X

**БАЛЫХИН МИХАИЛ ГРИГОРЬЕВИЧ** доктор экономических наук, доцент, и.о. ректора, Московский государственный университет пищевых производств (Москва, Россия)

**БЕЛЯЕВА ГАЛИНА ВИКТОРОВНА** доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой бухгалтерского учета и бюджетирования, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**БОГОМОЛОВА ИРИНА ПЕТРОВНА** доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой управления, организации производства и отраслевой экономики, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**ВОРОНИН ВАЛЕРИЙ ПАВЛОВИЧ** доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры теории экономики, товароведения и торговли, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**ЗАКШЕВСКИЙ ВАСИЛИЙ ГЕОРГИЕВИЧ** доктор экономических наук, профессор, академик РАН, почетный работник агропромышленного комплекса России, директор ФГБУ НИИЭОАПК ЦЧР России (Воронеж, Россия)

**МЕРЗЛИКИНА ГАЛИНА СТЕПАНОВНА** доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой экономики и управления, Волгоградский государственный технический университет (Волгоград, Россия)

**МИТЯКОВ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ** доктор физико-математических наук, профессор, директор института экономики и управления, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия)

**МОРКОВИНА СВЕТЛАНА СЕРГЕЕВНА** доктор экономических наук, профессор, проректор по науке и инновациям, профессор кафедры Менеджмента и экономики предпринимательства, Кафедра экономики и финансов Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова (Воронеж, Россия)

**САЛИКОВ ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ** доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

**СИБИРСКАЯ ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА** доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры статистики, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова (Москва, Россия) ORCID: 0000-0001-5496-1446

**СОВИК ЛЮДМИЛА ЕГОРОВНА** доктор экономических наук, профессор, кафедра экономики и бизнеса, Полесский государственный университет (Пинск, Беларусь) ORCID: 0000-0002-427-9789

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 05.12.2022. Подписано в печать 19.12.2022  
Выход в свет: 29.12.2022  
Формат 70×100 1/8.  
Усл. печ. л. 81,25 Тираж 1500 экз. Заказ.  
Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО  
«Воронеж. гос. ун-т инж.  
технол.», 2022



**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**

**The journal presents articles on the following scientific specialties:**

**05.18.00** – Food Technology;  
**05.17.00** – Chemical Technology;  
**08.00.00** – Economics

---

**EDITORIAL COUNCIL**

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

**POPOV, VASILIIY NIKOLAEVICH** Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Rector, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0003-1294-8686

**Vice-chairman (Deputy Chief Editor):**

**KORNEEVA, OLGA SERGEEVNA** Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Worker of Higher School of Russia, Vice Rector for scientific and innovative activity, 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**

**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)

**AGAFONOV, GENNADII VIACHESLAVOVICH** Doctor of Technical Sciences, prof., Head of the 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 Succurro Inc. (La Mesa, USA) ORCID: 0000-0002-9377-3875

**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. Gorbakov. (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 (Mocow, 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)

### **Economics and Management**

**KHOREV, ALEKSANDR IVANOVICH** Doctor of Economic Science, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of economic security and financial monitoring, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**AVESOV, AZIZULL HABIBOVICH** Doctor of Economics, Professor, Department of Industrial Markets, Khujand Polytechnic Institute of Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi (Khujand, Tajikistan) ORCID: 0000-0002-5867-648X

**BALYKHIN, MIKHAIL GRIGORYEVICH** doctor of economic sciences, associate professor, acting. Rector, Moscow State University of Food Production (Moscow, Russia)

**BELIAEVA, GALINA VIKTOROVNA** Doctor of Economic Science, Professor, Head of the Department of Accounting and budgeting, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**BOGOMOLOVA, IRINA PETROVNA** Doctor of Economic Science, Professor, Head of the Department of management, organization of manufacture and branch economy, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**VORONIN, VALERII PAVLOVICH** Doctor of Economic Science, Professor, Professor of the Department of Economics Theory, commodity research and commerce, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**ZAKSHEVSKY, VASILY GEORGIEVICH** Doctor of Economics, Professor, Academician of the RAS, Honorary Worker of the Russian Agroindustrial Complex, Director of the "Research Institute of Economics and Organization of the Agro-Industrial Complex of the Central Black Earth Region of the Russian Federation" (Voronezh, Russia)

**MERZLIKINA, GALINA STEPANOVNA** Doctor of economic sciences, professor, head. Department of Economics and Management, Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia)

**MITYAKOV, SERGEY NIKOLAEVICH** Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Director of the Institute of Economics and Management, Nizhny Novgorod State Technical University them. R.E. Alekseeva (Nizhny Novgorod, Russia)

**MORKOVINA, SVETLANA SERGEYEVNA** Doctor of Economics, Professor, Vice-Rector for Science and Innovations, Professor of the Department of Management and Economics of Entrepreneurship, Department of Economics and Finance Voronezh State Forestry University. G.F. Morozova (Voronezh, Russia)

**SALIKOV, IURII ALEKSANDROVICH** Doctor of Economic Science, Professor, Professor of the Department of economic security and financial monitoring, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

**SIBIRSKAYA, ELENA VIKTOROVNA** Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Statistics, Russian Economic University. G.V. Plekhanov (Moscow, Russia)

**SOVIK, LYUDMILA EGOROVNA** Doctor of Economic Science, Professor, Department of Economics and Business, Polessky State University (Pinsk, Belarus) ORCID: 0000-0002-427-9789

**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** ПИ № 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 05.12.2022. Signed to print 19.12.2022

The publication: 29.12.2022

Format 70×100 1/8.

Conditional Print l. 81,25 Circulation 1500 copies.

Price - Free.

© FSBEI HE

“Voronezh State University  
of Engineering  
Technologies”, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

- Жуковская С.В., Бабаева М.В., Казарцев Д.А., Громова Е.А.** Исследование влияния рас дрожжей на процесс брожения при производстве безалкогольного сидра 17
- Жуковская С.В., Бабаева М.В., Казарцев Д.А., Жиров В.М., Воробьев Д.А.** Исследование динамики химического состава сброженных яблочных соков в процессе уксуснокислой ферментации 24
- Ключников А.И., Овсянников В.Ю., Ключникова Д.В., Давыдов А.М.** Перспективы методов вычислительной гидродинамики при исследовании мембранных процессов 32

### ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

- Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Быковская Е.И., Сидоров Е.Ю.** Сравнительный анализ хмелевых заквасок для цельнозернового хлеба 39
- Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Лыткина Л.И., Максимов И.В., Попов Д.А., Звягин Р.Н.** Эффективность использования пробиотического комплекса Субтилис-С в отрасли промышленного кролиководства 46
- Половинкина Д.И., Егоров М.А., Сухенко Л.Т., Новиченко О.В., Баймухамбетова А.С., Рубан Н.В.** Антиоксидантная и антимикробная активность галофита *Tamarix ramosissima* и его применение в пищевой промышленности 53
- Алексеева Т.В., Назарова Н.Е., Орлова А.И., Давыдова Ю.А., Новик И.Р., Пиманова Н.А.** Пищевая композиция для алиментарной коррекции пищевых рационов детей подросткового возраста 59
- Глотова И.А., Тихонов Г., Галочкина Н.А., Шахов С.В.** Сухая белковая смесь для обогащения пищевых рационов на основе мембранных методов переработки вторичного молочного сырья 69
- Зуева Н.В., Веретенников С.А., Новикова И.В.** Переработка побочных продуктов спиртового производства с получением изобутилового спирта 76
- Воробьева Е.Е., Минина В.И., Соболева О.А., Милентьева И.С., Неверова О.А.** Создание функционального творожного продукта с добавлением нетрадиционного сырья 80
- Бояринаева И.В., Хамагаева И.С.** Совершенствование биотехнологии симбиотического бактериального концентрата 89
- Бояринаева И.В., Хамагаева И.С.** Питательные и защитные факторы среды для культивирования микробного консорциума 96
- Лещуков К.А., Ковалева О.А., Киреева О.С., Лазарева Т.Н., Поповичева Н.Н.** Оценка минерального профиля дикорастущего растительного сырья и продуктов его переработки для создания продуктов питания функциональной направленности 103
- Джабакова А.Э., Тулякова Т.В., Горячева Е.Д.** Анализ патентной документации по вопросам биотестирования в пищевых продуктах 110
- Буслаев В.Ю., Минина В.И., Торгунакова А.В., Соболева О.А., Марущак А.В., Яковлева А.А.** Возможности использования биологически активных веществ растений в терапии рака лёгкого 115
- Нилова Л.П., Малютенкова С.М., Шмакова Л.Н.** Влияние порошка стевии на качество безглютенового печенья 124
- Дубровина С.С., Гроховский В.А., Дубровин С.Ю.** Структурированный продукт из солено-сушеного минтая 133
- Шишкина Д.И., Штовхун А.И., Клейн Е.Э., Беркетова Л.В.** Современные технологии производства альтернативного молока из растительных продуктов 141
- Новикова И.В., Калаев В.Н., Муравьев А.С., Рукавицын П.В., Мальцева О.Ю., Криваносов И.Н.** Исследование влияния хмеля на безопасность полупродуктов пивоваренного производства 149



## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Лошманов С.В., Попов С.В., Хабибрахманова О.В.** Оптимизация содержания пропилена в пропан-пропиленовой фракции, подаваемой на алкилирование бензола с целью получения изопропилбензола **157**
- Нифталиев С.И., Козадерова О.А., Иванов А.В., Козенко И.А., Ким К.Б., Игумнов М.С.** Разработка программного обеспечения верхнего уровня системы управления процессом получения бентонит-содержащих биполярных мембран **165**
- Жадяев А.А., Попов С.В., Хабибрахманова О.В.** Оптимизация содержания изобутана в сырьевом потоке установки сернокислотного алкилирования изобутана олефинами **173**
- Зубкова О.С., Торопчина М.А.** Влияние содосульфатной смеси на физико-химические свойства сапонитовой суспензии **178**
- Бондарева Л.П., Загорулько Е.А., Астапов А.В.** Извлечение алифатических аминокислот из водных сред аминокислотным ионообменником **185**
- Студеникина Л.Н., Протасов А.В., Борзенков Д.А., Мельников А.А., Домарева С.Ю.** Модификация поливинилового спирта с помощью озонированного окисления в водном растворе **192**
- Зубова Н.Г., Герасимова В.М., Левкина Н.Л., Устинова Т.П., Костин К.Б.** Свойства и структурные особенности эпоксикомпозитов, армированных модифицированным ПАН-жгутиком **200**
- Лозицкая А.В., Кондратов А.П., Ямилинец С.Ю.** Проводящие полимерные композиты на основе тканей **206**

# CONTENTS

## PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

<b>Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Kazartsev D.A., Gromova E.A.</b>	Study of the influence of yeast races on the fermentation process in the production of non-alcoholic cider	17
<b>Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Kazartsev D.A., Zhirov V.M., Vorobjov D.A.</b>	Investigation of the dynamics of the chemical composition of fermented apple juices in the process of acetic acid fermentation	24
<b>Klyuchnikov A.I., Ovsyannikov V.Y., Klyuchnikova D.V., Davydov A.M.</b>	Perspectives of computational fluid dynamics methods in the study of membrane processes	32

## FOOD BIOTECHNOLOGY

<b>Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Bykovskaya E.I., Sidorov E.Yu.</b>	Comparative analysis of hop starter cultures for whole grain bread	39
<b>Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Lytkina L.I., Maksimov I.V., Popov D.A., Zvyagin R.N.</b>	The effectiveness of the use of the probiotic complex Subtilis-C in the field of industrial rabbit breeding	46
<b>Polovinchina D.I., Egorov M.A., Sukhenko L.T., Novichenko O.V., Baimukhambetova A.S., Ruban N.V.</b>	Antioxidant and antimicrobial activity of <i>Tamarix ramosissima</i> halophyte and its application in the food industry	53
<b>Alekseeva T.V., Nazarova N.E., Orlova A.I., Davydova Ju.Y., Novik I.R., Pimanova N.A.</b>	Research of consumer preferences in the production of bioactive pates for nutrition of pregnant women	59
<b>Glotova I.A., Tihonov G., Galochkina N.A., Shahov S.V.</b>	Dry protein mixture for food rations fortification based on membrane methods for processing secondary dairy raw materials	69
<b>Zueva N.V., Veretennikov S.A., Novikova I.V.</b>	Conversion of byproducts of alcohol production to produce isobutanol	76
<b>Vorobeva E.E., Minina V.I., Soboleva O.A., Milentyeva I.S., Neverova O.A.</b>	Creation of a functional curd product with the addition of non-traditional raw materials	80
<b>Boyarineva I.V., Khamagaeva I.S.</b>	Improving the biotechnology of symbiotic bacterial concentrate	89
<b>Boyarineva I.V., Khamagaeva I.S.</b>	Nutritional and protective environmental factors for microbial consortium cultivation	96
<b>Leshchukov K.A., Kovaleva O.A., Kireeva O.S., Lazareva T.N., Popovicheva N.N.</b>	Evaluation of the mineral profile of wild plant raw materials and products of its processing for the creation of functional food products	103
<b>Dzhabakova A.E., Tulyakova T.V., Goryacheva E.D.</b>	Patent documentation analysis on bioassay issues in food products	110
<b>Buslaev V.Y., Minina V.I., Torgunakova A.V., Soboleva O.A., Marushchak A.V., Yakovleva A.A.</b>	Abilities of biologically active compounds usage in lung cancer therapy	115
<b>Nilova L.P., Malyutenkova S.M., Shmakova L.N.</b>	The effect of stevia powder on the quality of gluten-free cookies	124
<b>Dubrovina S.S., Grokhovsky V.A., Dubrovin S.Yu.</b>	Half-dried fish with improved properties	133
<b>Shishkina D.I., Shtovhun A.I., Klein E.E., Berketova L.V.</b>	Modern technologies for the production of alternative milk from plant products	141
<b>Novikova I.V., Kalaev V.N., Muravyev A.S., Rukavitsyn P.V., Maltseva O.Y., Krivanosov I.N.</b>	Study of the influence of hops on the safety of brewing semi-products	149

## CHEMICAL TECHNOLOGY

- Loshmanov S.V., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V.** Optimization of the propylene content in the propane-propylene fraction fed to benzene alkylation in order to obtain isopropylbenzene **157**
- Niftaliev S.I., Kozaderova O.A., Ivanov A.V., Kozenko I.A., Kim K.B., Igumnov M.S.** Development of top-level software for the process control system for bentonite-containing bipolar membranes **165**
- Zhadyaev A.A., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V.** Optimization of the content of isobutane in the feed stream of the plant for sulfuric acid alkylation of isobutane with olefins **173**
- Zubkova O.S., Toropchina M.A.** Influence of soda-sulfate mixture on physicochemical properties of saponite suspension **178**
- Bondareva L.P., Zagorulko E.A., Astapov A.V.** Separation of aliphatic amino acids from aqueous media with an aminophosphonic ion exchanger **185**
- Studenikina L.N., Protasov A.V., Borzenkov D.A., Melnikov A.A., Domareva S.Y.** Modification of polyvinyl alcohol by ozonated oxidation in an aqueous solution **192**
- Zubova N.G., Gerasimova V.M., Levkina N.L., Ustinova T.P., Kostin K.B.** Properties and structural features of epoxycomposites reinforced with modified PAN- flagellum **200**
- Lozitskaya A.V., Kondratov A.P., Yamilinets S.Y.** Electrical conductivity of modified fabrics with carbon coating **206**




**Процессы и аппараты пищевых производств****Processes and devices for food production**DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-4-17-23>

Оригинальная статья/Research article

УДК 663.8

Open Access

Available online at [vestnik-vsuet.ru](http://vestnik-vsuet.ru)**Исследование влияния рас дрожжей на процесс брожения при производстве безалкогольного сидра**




Светлана В. Жуковская <sup>1</sup>	<a href="mailto:zhu2165@yandex.ru">zhu2165@yandex.ru</a>	 0000-0002-2324-6340
Мария В. Бабаева <sup>1</sup>	<a href="mailto:m-babaeva@mail.ru">m-babaeva@mail.ru</a>	 0000-0003-2258-3828
Дмитрий А. Казарцев <sup>1</sup>	<a href="mailto:kda_79@mail.ru">kda_79@mail.ru</a>	 0000-0001-6597-2327
Елизавета А. Громова <sup>1</sup>	<a href="mailto:al.elizaveta-808@mail.ru">al.elizaveta-808@mail.ru</a>	

<sup>1</sup> Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПГУ), ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

**Аннотация.** Исследования влияния рас дрожжей на процесс брожения позволили подобрать чистую дрожжевую культуру для производства безалкогольного сидра, позволяющую получить продукт с органолептическими показателями, приближенными к сидру традиционному. Для получения безалкогольного сидра было проведено исследование процесса брожения яблочного сока прямого отжима из сорта яблок Антоновка различными расами чистых дрожжевых культур. Для исследования подобраны три дрожжевые культуры: Wyeast 4766 Cider, Mangrove Jack's "Cider M02 и Fermentis Saflager S-23 и проанализированы их физические показатели. Процесс брожения контролировался по количеству выделенной углекислоты, по окончании брожения получены физико-химические показатели всех образцов и выявлена дрожжевая культура - Fermentis Saflager S-23, которая позволила получить напиток с показателями, соответствующими задаче исследования. Процесс брожения дрожжевой культурой Fermentis Saflager S-23, был окончен на 5 сутки, содержание этилового спирта составило всего 4% объемных, а аромат и вкус яблочного сусла был характерным и насыщенным. На заключительной стадии исследования были созданы три образца конечного продукта, основным сырьем для которых послужил сброженный яблочный сок каждой из исследуемых культур. Определены их физико-химические и органолептические показатели. Основываясь на полученных данных выявлен лучший образец безалкогольного сидра, который был получен в результате брожения Fermentis Saflager S-23.

**Ключевые слова:** брожение, дрожжевая культура, яблочный сок, безалкогольный сидр, органолептические показатели, физико-химические показатели.

**Study of the influence of yeast races on the fermentation process in the production of non-alcoholic cider**

Svetlana V. Zhukovskaya <sup>1</sup>	<a href="mailto:zhu2165@yandex.ru">zhu2165@yandex.ru</a>	 0000-0002-2324-6340
Maria V. Babaeva <sup>1</sup>	<a href="mailto:m-babaeva@mail.ru">m-babaeva@mail.ru</a>	 0000-0003-2258-3828
Dmitry A. Kazartsev <sup>1</sup>	<a href="mailto:kda_79@mail.ru">kda_79@mail.ru</a>	 0000-0001-6597-2327
Elizaveta A. Gromova <sup>1</sup>	<a href="mailto:al.elizaveta-808@mail.ru">al.elizaveta-808@mail.ru</a>	

<sup>1</sup> K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University) 73 Zemlyanoy Val street, Moscow, 109004, Russia

**Abstract.** Studies of the influence of yeast strains on the fermentation process made it possible to select a pure yeast culture for the production of non-alcoholic cider, which makes it possible to obtain a product with organoleptic characteristics close to traditional cider. To obtain non-alcoholic cider, a study was made of the process of fermentation of apple juice of direct extraction from the Antonovka apple variety by various races of pure yeast cultures. Three yeast cultures were selected for the study: Wyeast 4766 Cider, Mangrove Jack's "Cider M02 and Fermentis Saflager S-23, and their physical characteristics were analyzed. The fermentation process was controlled by the amount of carbon dioxide released; at the end of fermentation, physical and chemical parameters of all samples were obtained and a yeast culture was identified - Fermentis Saflager S-23, which made it possible to obtain a drink with indicators corresponding to the task of the study. The fermentation process with the yeast culture Fermentis Saflager S-23 was completed on the 5th day, the ethanol content was only 4% by volume, and the aroma and taste of apple must was characteristic and rich. At the final stage of the study, three samples of the final product were created, the main raw material for which was the fermented apple juice of each of the studied crops. Their physicochemical and organoleptic characteristics have been determined. Based on the data obtained, the best sample of non-alcoholic cider was identified, which was obtained as a result of the fermentation of Fermentis Saflager S-23

**Keywords:** fermentation, yeast culture, apple juice, non-alcoholic cider, organoleptic indicators, physical and chemical indicators.

## Для цитирования

Жуковская С.В., Бабаева М.В., Казарцев Д.А., Громова Е.А. Исследование влияния рас дрожжей на процесс брожения при производстве безалкогольного сидра // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 17–23. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-17-23

## For citation

Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Kazartsev D.A., Gromova E.A. Study of the influence of yeast races on the fermentation process in the production of non-alcoholic cider. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 17–23. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-17-23

## Введение

Сидр – это популярный слабоалкогольный напиток, который обладает тонизирующими свойствами [1]. В состав сидра входит множество органических кислот, макро- и микроэлементов, фенольных соединений и витаминов, поэтому этот напиток оказывает полезное воздействие на организм, способствует улучшению пищеварения. Сидр, как и некоторые столовые вина, способен выводить из организма человека тяжелые металлы и радионуклиды [2].

Исторически сидр является напитком слабоалкогольным. Поскольку в настоящее время спрос потребителей смещается в сторону безалкогольной продукции, что, в первую очередь, обусловлено желанием вести здоровый образ жизни, именно содержание алкоголя является ограничивающим фактором при выборе данного напитка [3]. Поэтому исследования в области производства безалкогольной продукции на основе растительного натурального сырья является актуальным [4].

Получение безалкогольного сидра с органолептическими показателями, приближенными к показателям сидра традиционного, позволит широкому кругу любителей алкогольного сидра, но следящему при этом за здоровьем и питанием, получить достойный аналог любимого напитка, не приносящий вред организму. Создание напитка, именно с максимально схожими органолептическими характеристиками, является главной задачей, поскольку нельзя исключать вкусовые привычки потребителей. Достичь необходимых органолептических характеристик возможно благодаря использованию правильно подобранной дрожжевой культуры.

Процесс брожения при производстве сидра является ключевым этапом производства, поскольку на данном этапе формируются основные ароматические и вкусовые характеристики напитка, они могут сформировать как характерные ноты, так и дополнительные – не характерные, например, существуют специально выведенные дрожжевые культуры, придающие аромат тропических фруктов сидру или пиву. Также дрожжевые культуры имеют ряд основных физических характеристик, которые оказывают прямое влияние на конечный продукт, таким образом, некоторые расы дрожжей будут способствовать полному сбраживанию сахаров, что в следствие приведет к повышенному содержанию алкоголя в конечном продукте, другие же культуры, наоборот, не способны осуществлять полную ферментацию, и в конечном напитке будет отмечено содержание остаточных сахаров [5].

Таким образом, исследование влияния рас дрожжей на процесс брожения при производстве безалкогольного сидра является актуальным, поскольку именно правильно подобранная чистая дрожжевая культура позволит получить безалкогольный сидр с органолептическими показателями, приближенными к показателям сидру традиционному.

## Материалы и методы

Для исследования были отобраны яблоки сорта Антоновка по ГОСТ 27572–2017 и три вида чистой культуры дрожжей (ЧДК). В качестве первого образца использовалась чистая дрожжевая культура, специально выращенная для производства сидра – Wyeast 4766 Cider, это дрожжи с большим фруктовым послевкусием [6]. В состав второго образца также вошли сидровые дрожжи расы Mangrove Jack's "Cider M02, они являются штаммом с высоким выделением эфира, открывая полный фруктовый потенциал сока [7]. И в качестве третьего образца, взяты дрожжи, предназначенные для сбраживания пивного сусла – Fermentis Saflager S-23. Более низкая сбраживающая способность данного штамма позволяет делать сидр с более полным вкусом [8].

Физико-химические показатели сброженного яблочного сока и безалкогольного сидра определяли по ГОСТ: объемную долю этилового спирта по ГОСТ 32095–2013; массовую концентрацию сахаров по ГОСТ 13192–73; массовую концентрацию титруемых кислот по ГОСТ 32114–20013; массовую концентрацию летучих кислот по ГОСТ 32001–2012; массовую концентрацию общего диоксида серы по ГОСТ 32115–13; давление двуокиси углерода в бутылке по ГОСТ 12258–79.

Органолептические показатели сброженного яблочного сока и безалкогольного сидра определяли по ГОСТ 6687.5–86.

## Результаты и обсуждение

На первом этапе были изучены и проанализированы характеристики подобранных дрожжевых культур. Основные критерии отображены в таблице 1. Толерантность к алкоголю является одним из главных показателей, поскольку наименьшее содержание спирта по окончании процесса брожения позволит сохранить конечному продукту содержание эфиров, отвечающие за аромат и вкус продукта. Дрожжи Fermentis Saflager S-23 за счет невысокой толерантности в сравнении с другими исследуемыми дрожжевыми культурами предположительно позволят получить меньшее содержание этилового спирта по окончании процесса брожения и обеспечат характерный аромат напитку.



Высокая флокуляция послужит упрощению технологическому процессу-снятия сброженного яблочного сока с осадка и последующему удалению остаточных дрожжей при фильтрации сброженного яблочного сока. Высокий уровень флокуляции у Mangrove Jack's "Cider M02 и Fermentis Saflager S-23 служит потенциалом к получению качественного продукта из обеих дрожжевых культур.

Высокая аттенуация послужит полной ферментации сбраживаемых сахаров, вкус напитка будет сухим, а аромат характерный традиционному сидру. Самый высокий уровень аттенуации отмечен у Wyeast 4766 Cider, что

делает данную дрожжевую культуру конкурентоспособной среди других образцов.

Широкий показатель диапазона температуры брожения позволяет ускорить данный технологический процесс. Наиболее широкий диапазон температур отмечен у Mangrove Jack's Cider M02.

Проанализировав физические показатели, можно отметить, что каждая из дрожжевых культур может послужить основным сырьем для производства безалкогольного сидра, поэтому исследование процесса брожения является необходимым для получения продукта, отвечающего изначальным поставленным задачам.

Таблица 1.

## Основные характеристики ЧДК

Table 1.

## The main characteristics of the BDC

Наименование ЧДК Name of the PYC	Wyeast 4766 Cider	Mangrove Jack's Cider M02	Fermentis Saflager S-23
Толерантность к алкоголю, % Tolerance to alcohol, %	12	15,5	10,5
Диапазон температуры брожения, °C Fermentation temperature range, °C	15–24	12–28	9–22
Флокуляция   Flocculation	Низкая   Low	Высокая   High	
Аттенуация, %   Attenuation, %	85	90	83

Для исследования процесса брожения использовали яблочный сок из сорта яблок Антоновка. Для получения яблочного сока яблоки мыли, измельчали, затем осуществляли процесс прессования яблочной мякоти на корзинном дисковом прессе, далее полученный сок осветляли отстаиванием, снимали с осадка, и направляли на приготовление сула.

На втором этапе исследования осуществлялся процесс брожения, полученного яблочного сока. Динамику брожения яблочного сока контролировали по количеству выделенной углекислоты (рисунок 1). Температура брожения и доза дрожжей соответствовала рекомендациям изготовителя. Пробы с исследуемыми образцами ежедневно взвешивали до постоянного веса [9]. По результатам исследования строили график брожения.

Процесс брожения яблочного сока тремя различными дрожжевыми культурами показал, что дрожжи Fermentis Saflager S-23 быстрее остальных исследуемых культур сбродили сахара в этиловый спирт, содержание спирта при этом составило 4% объемных. В то время как дрожжам Wyeast 4766 Cider понадобилось больше времени на данный процесс, а содержание спирта при этом составило 8% объемных и Mangrove Jack's "Cider M02 завершили процесс

брожения последними, содержание полученного спирта – 10%.

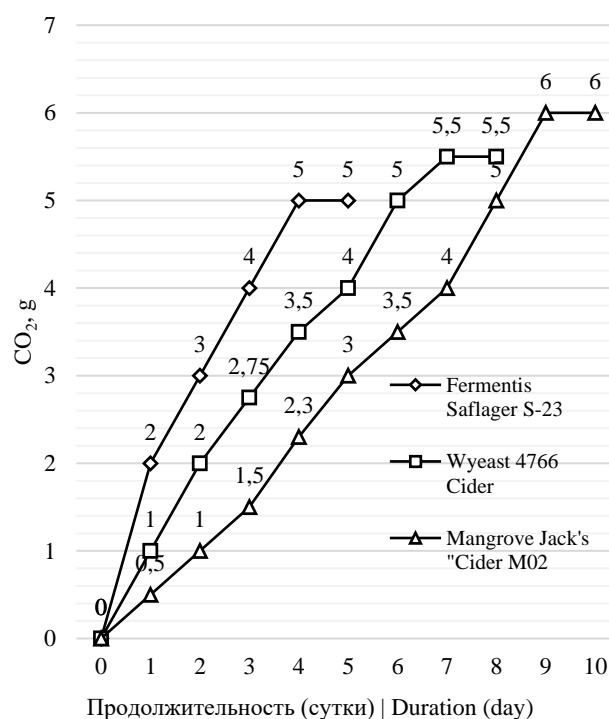


Рисунок 1. Динамика брожения яблочного сока по количеству выделенной углекислоты

Figure 1. Dynamics of fermentation of apple juice by the amount of carbon dioxide released

По окончании процесса брожения после отстаивания сброженного яблочного сока образовался плотный осадок в образцах с ЧДК Mangrove Jack's "Cider M02 и Fermentis Saflager S-23, это облегчило следующие технологические процессы: снятие с осадка и фильтрацию. Дрожжи Wyeast 4766 Cider за счет низкой флокуляции не образовали плотного осадка, тем самым сложнее и дольше отфильтровывались. Данные технологические процессы важны при производстве безалкогольного сидра, поскольку содержание остаточных дрожжей должно быть сведено к минимуму.

По органолептическим показателям, каждый из полученных трех образцов имел характерный аромат сидра традиционного, однако самым полнотелым и насыщенным во вкусе был образец с ЧДК Fermentis Saflager S-23.

Исследование процесса брожения показало, что из данных штаммов дрожжей для усовершенствования технологии безалкогольного сидра лучшим вариантом являются дрожжи Fermentis Saflager S-23, поскольку в результате процесса брожения содержание этилового спирта составило всего 4% объемных, это значительно меньше, чем у других образцов, время процесса брожения также было минимальным, а органолептические показатели выше.

На последнем этапе исследования был произведен безалкогольный сидр из каждого образца, для получения физико-химических и органолептических показателей конечного продукта.

Для получения безалкогольного сидра сброженный яблочный сок, снятый с осадка и отфильтрованный, охладили до температуры близкой к 0 °С и купажировали стабилизированным яблочным соком прямого отжима до содержания этилового спирта не выше 0,5% объемных.

Проанализировав данные конечных трех продуктов, было подтверждено, что подобранные дрожжи расы Fermentis Saflager S-23, благодаря своим физическим показателям, послужат ключевым сырьем, которое позволяет получить безалкогольный сидр с органолептическими показателями максимально приближенному к сидру традиционному (за исключением содержания этилового спирта). Данный штамм дрожжей позволит создать конкурентоспособный товар для алкогольного сидра. Физико-химические и органолептические показатели полученного безалкогольного сидра сравнивали с показателями, прописанными в ГОСТ Р 58011–2017 «Сидры традиционные. Технические условия».

Таблица 2.

Физико-химические и органолептические показатели безалкогольного сидра

Table 2.

## Physico-chemical and organoleptic characteristics of non-alcoholic cider

ЧДК   PYC	Fermentis Saflager S-23	Wyeast 4766 Cider	Mangrove Jack's "Cider M02
Физико-химические показатели   Physico-chemical indicators			
Наименование   Name			
Массовая концентрация сахаров, г/дм <sup>3</sup> Mass concentration of sugars, g/dm <sup>3</sup>	23	24	22
Объемная доля этилового спирта, %об. Volume fraction of ethyl alcohol, % vol.	0,5	0,5	0,5
Массовая концентрация титруемых кислот, г/дм <sup>3</sup>   Mass concentration of titrated acids, g/dm <sup>3</sup>	13	10	8
Массовая концентрация летучих кислот, г/дм <sup>3</sup>   Mass concentration of volatile acids, g/dm <sup>3</sup>	0, 4	1,0	0,9
Массовая концентрация общего диоксида серы, мл/дм <sup>3</sup> Mass concentration of total sulfur dioxide, ml/dm <sup>3</sup>	94	168	152
Давление двуокиси углерода в бутылке, кПа, при температуре 20 °С Pressure of carbon dioxide in the bottle, kPa, at a temperature of 20 °C	200	215	250
Органолептические показатели   Organoleptic indicators			
Цвет   Colour	Бледно-желтый   Pale-yellow		
Аромат   Smell	Выраженный яблочный и легкий дрожжевой аромат Pronounced apple and light yeast flavor	Выраженный яблочный Pronounced apple	Слабый яблочный Weak apple
Вкус   Taste	Характерный сидру традиционному Characteristic of traditional cider	Яблочный, сладкий Apple, sweet	Плоский Flat
Прозрачность   Transparency			
CO <sub>2</sub>	Слабогазированный Slightly carbonated	Газированный Carbonated	Сильногазированный Highly carbonated

### Заключение

По результатам исследования влияния рас дрожжей на процесс брожения при производстве безалкогольного сидра было установлено, что из каждой ЧДК, участвовавшей в исследовании (Wyeast 4766 Cider, Mangrove Jack's "Cider M02 и Fermentis Saflager S-23) может быть получен безалкогольный сидр с физико-химическими показателями приближенными к сидру традиционному. Однако, опираясь на полученные данные по органолептическим показателям следует отметить, конечный продукт с использованием Wyeast 4766 Cider имеет яблочный аромат без дрожжевого тока, характерного для сидра традиционного. У конечного продукта с использованием

Mangrove Jack's "Cider M02 аромат напитка слабый, а вкус плоский. Конечный продукт полученный с использованием Fermentis Saflager S-23 имеет интенсивный яблочно-дрожжевой аромат и насыщенный свежий яблочный вкус.

В результате исследования влияния различных рас дрожжевых культур на процесс брожения при производстве безалкогольного сидра подобрана дрожжевая культура Fermentis Saflager S-23, которая обеспечивает физико-химические и органолептические показатели, позволяющие получить безалкогольный сидр с ароматическими и вкусовыми характеристиками, приближенными к сидру традиционному.

### Литература

- 1 Жуковская С.В., Бабаева М.В., Казарцев Д.А., Жиров В.М. Исследование динамики химического состава сброженных яблочных соков в процессе уксуснокислой ферментации // Вестник ВГУИП. 2021. Т. 83. № 1. С. 1–6. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-6
- 2 Оганесянц Л.А., Панасюк А.Л., Рейтблат Б.Б. Теория и практика плодового виноделия. М.: Промышленно-консалтинговая группа «Развитие» по заказу ГНУ ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, 2011.
- 3 Кандыбина А.В., Звягинцева М.Г., Комаров А.В., Россихин В.В. Яблочный уксус: приготовление и биологически активные вещества // News of Science and Education. 2017. Т. 3. № 9. С. 026–028.
- 4 Гончаровская И. В., Левон В. Ф. Содержание некоторых биологически активных веществ в яблочном уксусе с разных плодов *Malus Domestica* Borkh // От растения до лекарственного препарата. 2020. С. 217-222.
- 5 Еременко А.С., Синилова Ю.К., Голуб О.В. Оценка качественных характеристик яблочного уксуса // Оценка качества и безопасность потребительских товаров. 2020. С. 49-53.
- 6 Шумская Н.Н., Ломакина С.А., Сердюк В.А., Мальцева Т.А., Куц А.А. Органолептический и сравнительный анализ яблочного и яблочно-грушевого уксусов // Инновационные технологии в науке и образовании (конференция «ИТНО 2020»). 2020. С. 504-507.
- 7 Панасюк А.Л., Кузьмина Е.И., Борисова А.Л. Новое направление в производстве пищевого уксуса // Пищевая промышленность. 2017. № 7. С. 58–60.
- 8 Carballo D., Fernández-Franzón M., Ferrer E., Pallarés N. et al. Dietary Exposure to Mycotoxins through Alcoholic and Non-Alcoholic Beverages in Valencia, Spain // Toxins. 2021. V. 13. №. 7. P. 438. doi: 10.3390/toxins13070438
- 9 Rodríguez-Ramos R., Socas-Rodríguez B., Santana-Mayor Á., Rodríguez-Delgado M.Á. A simple, fast and easy methodology for the monitoring of plastic migrants in alcoholic and non-alcoholic beverages using the QuEChERS method prior to gas chromatography tandem mass spectrometry // Analytical and bioanalytical chemistry. 2020. V. 412. №. 7. P. 1551-1561. doi:10.1007/s00216-019-02382-0
- 10 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi-automated continuous solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non-alcoholic drinks from Andalucía (Spain) // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019. V. 99. №. 3. V. 1117-1125. doi: 10.1002/jsfa.9279
- 11 Jia M., Joyce J.D., Bertke A.S. SARS-CoV-2 survival in common non-alcoholic and alcoholic beverages // Foods. 2022. V. 11. №. 6. P. 802. doi: 10.3390/foods11060802
- 12 Yabaci Karaoglan S., Jung R., Gauthier M., Kincl T. et al. Maltose-Negative Yeast in Non-Alcoholic and Low-Alcoholic Beer Production // Fermentation. 2022. V. 8. №. 6. P. 273. doi: 10.3390/fermentation8060273
- 13 Salanță L.C., Coldea T.E., Ignat M.V., Pop C.R. et al. Non-alcoholic and craft beer production and challenges // Processes. 2020. V. 8. №. 11. P. 1382. doi: 10.3390/pr8111382
- 14 Rezaei H., Moazzen M., Shariatifar N., Khaniki G.J. et al. Measurement of phthalate acid esters in non-alcoholic malt beverages by MSPE-GC/MS method in Tehran city: chemometrics // Environmental Science and Pollution Research. 2021. V. 28. №. 37. P. 51897-51907. doi: 10.1007/s11356-021-14290-x
- 15 Baschali A., Tsakalidou E., Kyriacou A., Karavasiloglou N. et al. Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group // Nutrition Research Reviews. 2017. V. 30. №. 1. P. 1-24.
- 16 Castro-Muñoz R. Membrane technologies for the production of nonalcoholic drinks // Trends in non-alcoholic beverages. 2020. P. 141-165. doi: 10.1016/B978-0-12-816938-4.00005-7
- 17 Lavefve L., Marasini D., Carbonero F. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health // Advances in food and nutrition research. 2019. V. 87. P. 147-185. doi:10.1016/bs.afnr.2018.09.001
- 18 Díaz-Ufano M.L.L. Consumption estimation of non alcoholic beverages, sodium, food supplements and oil // Nutrición Hospitalaria. 2015. V. 31. №. 3. P. 70-75.
- 19 Suter R., Miller C., Gill T., Coveney J. The bitter and the sweet: a cultural comparison of non-alcoholic beverage consumption in Japan and Australia // Food, Culture & Society. 2020. V. 23. №. 3. P. 334-346. doi: 10.1080/15528014.2019.1679548


20 Bellut K., Michel M., Zarnkow M., Hutzler M. et al. Screening and application of Cyberlindnera yeasts to produce a fruity, non-alcoholic beer // *Fermentation*. 2019. V. 5. №. 4. P. 103. doi: 10.3390/fermentation5040103

### References

- 1 Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Kazartsev D.A., Zhirov V.M. Study of the dynamics of the chemical composition of fermented apple juices in the process of acetic acid fermentation. *Proceedings of VSUET*. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 1–6. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-6 (in Russian).
- 2 Oganesyants L.A., Panasyuk A.L., Reitblat B.B. Theory and practice of fruit winemaking. Moscow, Industrial consulting group "Razvitie" commissioned by the State Scientific Institution All-Russian Research Institute of the brewing, non-alcoholic and wine industry, 2011. (in Russian).
- 3 Kandybina A.V., Zvyagintseva M.G., Komarov A.V., Rossikhin V.V. Apple cider vinegar: preparation and biologically active substances. *News of Science and Education*. 2017. vol. 3. no. 9. pp. 026–028. (in Russian).
- 4 Goncharovskaya I. V., Levon V. F. The content of some biologically active substances in apple cider vinegar from different fruits of *Malus Domestica* Borkh. From a plant to a drug. 2020. pp. 217–222. (in Russian).
- 5 Eremenko A.S., Sinilova Yu.K., Golub O.V. Evaluation of the qualitative characteristics of apple cider vinegar. Quality assessment and safety of consumer goods. 2020. pp. 49–53. (in Russian).
- 6 Shumskaya N.N., Lomakina S.A., Serdyuk V.A., Maltseva T.A., Kuts A.A. Organoleptic and comparative analysis of apple and apple-pear vinegar. *Innovative technologies in science and education (conference "ITNO 2020")*. 2020. pp. 504–507. (in Russian).
- 7 Panasyuk A.L., Kuzmina E.I., Borisova A.L. A new direction in the production of food vinegar. *Food Industry*. 2017. no. 7. pp. 58–60. (in Russian).
- 8 Carballo D., Fernández-Franzón M., Ferrer E., Pallarés N. et al. Dietary Exposure to Mycotoxins through Alcoholic and Non-Alcoholic Beverages in Valencia, Spain. *Toxins*. 2021. vol. 13. no. 7. pp. 438. doi: 10.3390/toxins13070438
- 9 Rodríguez-Ramos R., Socas-Rodríguez B., Santana-Mayor Á., Rodríguez-Delgado M.Á. A simple, fast and easy methodology for the monitoring of plastic migrants in alcoholic and non-alcoholic beverages using the QuEChERS method prior to gas chromatography tandem mass spectrometry. *Analytical and bioanalytical chemistry*. 2020. vol. 412. no. 7. pp. 1551–1561. doi:10.1007/s00216-019-02382-0
- 10 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi-automated continuous solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non-alcoholic drinks from Andalucía (Spain). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019. vol. 99. no. 3. pp. 1117–1125. doi: 10.1002/jsfa.9279
- 11 Jia M., Joyce J.D., Bertke A.S. SARS-CoV-2 survival in common non-alcoholic and alcoholic beverages. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 6. pp. 802. doi: 10.3390/foods11060802
- 12 Yabaci Karaoglan S., Jung R., Gauthier M., Kincl T. et al. Maltose-Negative Yeast in Non-Alcoholic and Low-Alcoholic Beer Production. *Fermentation*. 2022. vol. 8. no. 6. pp. 273. doi: 10.3390/fermentation8060273
- 13 Salanță L.C., Coldea T.E., Ignat M.V., Pop C.R. et al. Non-alcoholic and craft beer production and challenges. *Processes*. 2020. vol. 8. no. 11. pp. 1382. doi: 10.3390/pr8111382
- 14 Rezaei H., Moazzen M., Shariatifar N., Khaniki G.J. et al. Measurement of phthalate acid esters in non-alcoholic malt beverages by MSPE-GC/MS method in Tehran city: chemometrics. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. vol. 28. no. 37. pp. 51897–51907. doi: 10.1007/s11356-021-14290-x
- 15 Baschali A., Tsakalidou E., Kyriacou A., Karavasiloglou N. et al. Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group. *Nutrition Research Reviews*. 2017. vol. 30. no. 1. pp. 1–24.
- 16 Castro-Muñoz R. Membrane technologies for the production of nonalcoholic drinks. *Trends in non-alcoholic beverages*. 2020. pp. 141–165. doi: 10.1016/B978-0-12-816938-4.00005-7
- 17 Lavefve L., Marasini D., Carbonero F. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health. *Advances in food and nutrition research*. 2019. vol. 87. pp. 147–185. doi:10.1016/bs.afnr.2018.09.001
- 18 Díaz-Ufano M.L.L. Consumption estimation of non alcoholic beverages, sodium, food supplements and oil. *Nutrición Hospitalaria*. 2015. vol. 31. no. 3. pp. 70–75.
- 19 Suter R., Miller C., Gill T., Coveney J. The bitter and the sweet: a cultural comparison of non-alcoholic beverage consumption in Japan and Australia. *Food, Culture & Society*. 2020. vol. 23. no. 3. pp. 334–346. doi: 10.1080/15528014.2019.1679548
- 20 Bellut K., Michel M., Zarnkow M., Hutzler M. et al. Screening and application of *Cyberlindnera* yeasts to produce a fruity, non-alcoholic beer. *Fermentation*. 2019. vol. 5. no. 4. pp. 103. doi: 10.3390/fermentation5040103


### Сведения об авторах

**Светлана В. Жуковская** к.х.н., доцент, кафедра технологии виноделия, броидильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПГУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, zhu2165@yandex.ru


 <https://orcid.org/0000-0002-2324-6340>

### Information about authors


**Svetlana V. Zhukovskaya** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, zhu2165@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2324-6340>

**Мария В. Бабаева** к.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, броидильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, m-babaeva@mail.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-2258-3828>

**Дмитрий А. Казарцев** к.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, броидильных производств и химии имени 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>

**Елизавета А. Громова** магистрант, кафедра технологии виноделия, броидильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, al.elizaveta-808@mail.ru

**Maria V. Babaeva** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, m-babaeva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2258-3828>

**Dmitry A. Kazartsev** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, kda\_79@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

**Elizaveta A. Gromova** master student, technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, al.elizaveta-808@mail.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 20/10/2022	После редакции 10/11/2022	Принята в печать 28/11/2022
Received 20/10/2022	Accepted in revised 10/11/2022	Accepted 28/11/2022



## Исследование динамики химического состава сброженных яблочных соков в процессе уксуснокислой ферментации

Светлана В. Жуковская	<sup>1</sup>	<a href="mailto:zhu2165@yandex.ru">zhu2165@yandex.ru</a>	 0000-0002-2324-6340
Мария В. Бабаева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:m-babaeva@mail.ru">m-babaeva@mail.ru</a>	 0000-0003-2258-3828
Дмитрий А. Казарцев	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kda_79@mail.ru">kda_79@mail.ru</a>	 0000-0001-6597-2327
Владимир М. Жиров	<sup>2</sup>	<a href="mailto:zhirov.vladimir@rosspirtprom.ru">zhirov.vladimir@rosspirtprom.ru</a>	 0000-0002-8519-1082
Дмитрий А. Воробьев	<sup>1</sup>	<a href="mailto:dmitwor@mail.ru">dmitwor@mail.ru</a>	





<sup>1</sup> Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

<sup>2</sup> АО «РОСПИРТПРОМ» Кутузовский проспект, д.34, стр. 21, г. Москва, 121170, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования, направленного на глубокое и всестороннее изучение факторов, определяющих эффективность процесса биохимического окисления, изучение динамики химического состава яблочного сырья в процессе уксуснокислого брожения. На первом этапе исследования было проведено изучение химического состава яблочных соков. В исследуемых образцах сока определяли pH, содержание сухих веществ, титруемых кислот, летучих кислот, экстракта, сахаров, азотистых веществ, фенольных веществ и углеводов. На втором этапе было проведено исследование химического состава яблочного сырья во время ферментации. Сбраживание яблочного сока проводили на чистой культуре дрожжей Яблочная-7. Брожение проводилось при температуре 20-22 °С. Готовый ферментированный сок спиртовали до 9% по объему и хранили перед употреблением. Далее была проведена уксуснокислая ферментация глубинным способом. Основные технологические и биохимические показатели были определены в свежем яблочном соке, сброженно-спиртованном соке и уксусе. В результате определения фракционного состава азотистых, фенольных веществ и углеводов яблочных соков было установлено, что химический состав яблочных соков зависит от способа обработки яблок и их сортовых особенностей. В процессе уксуснокислого брожения яблочного сырья наблюдается изменение азотистых и фенольных веществ. При этом углеводный состав практически не меняется. При окислении яблочного сырья уксуснокислыми бактериями процессы образования альдегида и эфиробразования значительно усиливаются. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о разнообразии химического состава яблочных материалов и получаемого из них уксуса. В целом химический состав яблочного сырья и уксуса зависит от качества обработанного сырья и технологических условий производства

**Ключевые слова:** яблочный сок, яблочный уксус, уксуснокислая ферментация, химический состав, биохимическое окисление.

## Investigation of the dynamics of the chemical composition of fermented apple juices in the process of acetic acid fermentation

Svetlana V. Zhukovskaya	<sup>1</sup>	<a href="mailto:zhu2165@yandex.ru">zhu2165@yandex.ru</a>	 0000-0002-2324-6340
Maria V. Babaeva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:m-babaeva@mail.ru">m-babaeva@mail.ru</a>	 0000-0003-2258-3828
Dmitry A. Kazartsev	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kda_79@mail.ru">kda_79@mail.ru</a>	 0000-0001-6597-2327
Vladimir M. Zhirov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:zhirov.vladimir@rosspirtprom.ru">zhirov.vladimir@rosspirtprom.ru</a>	 0000-0002-8519-1082
Dmitry A. Vorobjov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:dmitwor@mail.ru">dmitwor@mail.ru</a>	

<sup>1</sup> K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University) 73 Zemlyanoy Val street, Moscow, 109004, Russia

<sup>2</sup> AO "ROSSPIRTROM" Kutuzovsky Prospekt, 34, p. 21, Moscow, 121170, Russia

**Abstract.** The article presents the results of a study aimed at a deep and comprehensive study of the factors that determine the effectiveness of the biochemical oxidation process, the study of the dynamics of the chemical composition of apple materials in the process of acetic acid fermentation. At the first stage of the study, a study of the chemical composition of apple juices was conducted. The pH, the content of solids, titrated acids, volatile acids, extract, sugars, nitrogenous substances, phenolic substances and carbohydrates were determined in the studied juice samples. At the second stage, a study of the chemical composition of apple materials was carried out during fermentation. Fermentation of apple juice was carried out on a pure culture of yeast Apple-7. Fermentation was carried out at a temperature of 20-22°C. The finished fermented juice was alcoholized to 9% by volume and stored before use. Further, acetic acid fermentation was carried out in a deep way. The main technological and biochemical parameters were determined in fresh apple juice, fermented alcoholic juice and vinegar. As a result of determining the fractional composition of nitrogenous, phenolic substances and carbohydrates of apple juices, it was found that the chemical composition of apple juices depends on the method of processing apples and their varietal characteristics. In the process of acetic acid fermentation of apple materials, a change in nitrogenous and phenolic substances is observed. At the same time, the carbohydrate composition practically does not change. When apple materials are oxidized by acetic acid bacteria, the processes of aldehyde formation and ether formation are significantly intensified. Thus, the data obtained indicate a variety of chemical composition of apple materials and vinegar obtained from them. In general, the chemical composition of apple materials and vinegar depends on the quality of processed raw materials and technological conditions of production.

**Keywords:** apple juice, apple cider vinegar, acetic fermentation, chemical composition, biochemical oxidation.

Для цитирования

Жуковская С.В., Бабаева М.В., Казарцев Д.А., Жиров В.М., Воробьев Д.А. Исследование динамики химического состава сброженных яблочных соков в процессе уксуснокислой ферментации // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 24–31. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-24-31

For citation

Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Kazartsev D.A., Zhirov V.M., Vorobjov D.A. Investigation of the dynamics of the chemical composition of fermented apple juices in the process of acetic acid fermentation. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 24–31. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-24-31

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

## Введение

Производство продуктов питания является одной из самых необходимых и востребованных отраслей промышленности. В соответствии с Государственной программой «Здоровое питание-здоровье нации», приоритетным направлением рассматриваемой области считается расширение ассортимента низкокалорийных натуральных продуктов для потребителей, следящих за своим здоровьем. Разработка этой группы продуктов диктуется насущной потребностью современного рынка, необходимостью оптимизации питания и здоровья, имеет важное значение ввиду резко возросших под влиянием современных причин, больших нагрузок на адаптационные способности организма человека [1]. Потребность в продуктах питания, в том числе, в высококачественном плодово-уксусе, постоянно растет, расширяется ассортимент, улучшается качество, ужесточаются требования не только к качеству, но и длительности хранения готового продукта.

До 80-х годов 20-го века получали спиртовой уксус биохимическим путем, он широко использовался в питании людей, был незаменимым компонентом в рыбной, консервной промышленности, как вкусовая приправа в общественном питании и в быту. Выпускалось еще небольшое количество так называемого «винного уксуса».

В последние 20 лет в мире особое внимание уделяется разработке «плодового» уксуса, особенно яблочного, в двух вариантах – 6 и 9% [2].

Отличительной особенностью яблочного уксуса является то, в том, что в нем, помимо уксусной кислоты, в результате спиртового, а затем уксуснокислого брожения в реакционной среде накапливается много метаболитов дрожжей и уксуснокислых бактерий (УКБ), создающих приятный аромат и вкусовые ощущения, а также насыщающих продукт различными биологически-активными веществами [3].

Яблочный уксус является одним из наиболее ценных продуктов, вырабатываемых из яблочного сока. Яблочный уксус содержит в себе комплекс биологически активных веществ, полезных для здоровья человека [4].

Качество яблочного уксуса в большой степени зависит от внешних факторов: от сорта яблок, степени их зрелости, глубины сбраживания яблочных материалов, расы дрожжей, способов обработки сброженных масс, особенностей уксуснокислых бактерий и т. д. Многие факторы, из перечисленных, еще до конца не решены

и требуют дальнейших исследований и проработки. Известно, что кроме уксусной кислоты и остаточного спирта яблочный уксус содержит различные соединения, которые частично переходят из сырья, а также образуются в процессе уксуснокислой ферментации. Многие из этих соединений влияют на вкус и аромат готового уксуса [5,6].

В задачи настоящего исследования входило исследование химического состава яблочных материалов и его изменение в процессе уксуснокислой ферментации.

## Материалы и методы

В качестве сырья были использованы промышленные образцы соков яблок Центрального региона России.

В ходе исследований физико-химические показатели определяли в соответствии с общепринятыми в энохимии методами. Органолептические показатели (вкус и аромат) соков определяли по пятибалльной шкале.

## Результаты и обсуждение

Химический состав яблочных соков весьма разнообразен. Известно, что химический состав яблочных соков колеблется в довольно широких пределах в зависимости от гомологического сорта, технологии переработки и хранения [1]. На первом этапе исследовали химический состав яблочных соков.

На первом этапе исследования было проведено исследование химического состава яблочных соков, полученных из яблок садов средней полосы.

В исследуемых образцах соков определены pH, содержание сухих веществ, титруемых кислот, летучих кислот, экстракта, сахаров, азотистых веществ, фенольных веществ и углеводов.

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 1. Как видно из полученных данных, химический состав образцов яблочных соков идентичен. Некоторое отличие наблюдалось только в первом образце, в котором содержание углеводов, и соответственно сухих веществ, ниже (9,2% по сравнению с 12,0%). Титруемая и летучая кислотность в исследуемых образцах находились приблизительно на одном уровне и изменялись от 4,1 до 4,9 г/дм<sup>3</sup> и от 0,36 до 0,48 г./дм<sup>3</sup> соответственно. Значения pH также колебались незначительно и находились на уровне 3,45–3,65.

Биохимический состав яблочных соков представлен в таблице 2.

Таблица 1.

Физико-химические показатели яблочных соков

Table 1.

Physico-chemical parameters of apple juices

Образец (Сорт) Sample	Показатели состава   Indicator						органолептические показатели Organoleptic values
	Сухие вещества, % Dry matter, %	Экстракт, г/дм <sup>3</sup> Extract, g/dm <sup>3</sup>	Общий сахар, г/100 см <sup>3</sup> Total sugar, g/100 cm <sup>3</sup>	Титруемая кислотность, г/дм <sup>3</sup> Titratable acidity, g/dm <sup>3</sup>	Летучая кислотность, г/дм <sup>3</sup> Volatile acidity, g/dm <sup>3</sup>	pH	
Образец 1 (Лобо) Sample 1 (Lobo)	9,2	9,62	10,4	4,9	0,48	3,45	4
Образец 2 (Мартовское) Sample 2 (March)	12,0	12,65	12,7	4,2	0,42	3,45	4
Образец 3 (Пепин шафранный) Sample 3 (Saffron Pepin)	12,0	12,62	12,7	4,2	0,42	3,45	4
Образец 4 (Кориичное новое) Sample 4 (Cinnamon new)	12,0	12,52	12,6	4,1	0,36	3,40	4
Образец 5 (Мантет) Sample 5 (Mantet)	12,0	12,51	12,6	5,7	0,46	3,65	4
Образец 6 (Мелба) Sample 6 (Melba)	10,9	11,34	11,5	4,6	0,40	3,40	5
Образец 7 (Уэлси) Sample 7 (Welsey)	10,8	11,28	11,5	4,6	0,38	3,40	5

Таблица 2.

Биохимический состав яблочных соков

Table 2.

Biochemical composition of apple juices

Образец Sample	Показатели состава   Indicator								
	мг/100 см <sup>3</sup>   mg/dm <sup>3</sup>					Углеводы, г/100 см <sup>3</sup>   Carbohydrates, g/dm <sup>3</sup>			
	Общий азот Total nitrogen	Аминный азот Amine nitrogen	Белковый азот Protein nitrogen	Общие фенольные вещества Total phenolic substances	Мономерные фенольные вещества Monomeric phenolic substances	Арабиноза	Фруктоза	Глюкоза	Полисахариды
№ 1	61,2	40,7	4,32	945,0	99,5	0,42	5,8	3,8	0,2
№ 2	63,2	43,1	3,89	1282,5	137,5	0,62	6,0	3,4	2,5
№ 3	89,0	53,6	5,04	1215,0	167,5	0,62	6,3	4,2	1,88
№ 4	69,2	38,7	7,20	756,0	69,7	0,83	5,4	2,4	3,97
№ 5	72,0	49,4	6,32	688,5	180,0	0,20	5,6	2,0	4,8
№ 6	67,2	32,0	4,59	930,0	97,3	0,30	5,2	3,2	2,8
№ 7	71,1	45,0	5,28	1020,0	152,7	0,50	5,8	3,8	1,4

Таблица 3.

Динамика физико-химического состава яблочных материалов  
в процессе уксуснокислой ферментации

Table 3.

Dynamics of the physico-chemical composition of apple materials in the process of acetic acid fermentation

Показатель   Indicator	Яблочный сок Sample	Яблочный сброженно- спиртованный сок Sample	Яблочный уксус Sample
Общее содержание сахаров, г/100 см <sup>3</sup>   Total sugars content, g/100 cm <sup>3</sup>	11,5	0,34	0,3
Спиртуозность, % об   Alcohol content, % vol	—	6,6	0,5
Титруемая кислотность, г / 100 дм <sup>3</sup>   Titratable acidity, g/100 dm <sup>3</sup>	4,6	3,8	78,0
Летучая кислотность, г/дм <sup>3</sup>   Volatile acidity, g/dm <sup>3</sup>	0,4	0,8	75,0
Общий азот, мг/дм <sup>3</sup>   Total nitrogen, mg/dm <sup>3</sup>	67,2	66,5	67,3
Общие фенольные вещества, мг/дм <sup>3</sup>   Total phenolic substances, mg/dm <sup>3</sup>	930,0	365,2	342,0
Аминный азот, мг/дм <sup>3</sup>   Amine nitrogen, mg/dm <sup>3</sup>	32,0	26,4	51,2
Фосфор, мг/дм <sup>3</sup>   Phosphorous, mg/dm <sup>3</sup>	—	0,14	0,1
Степень окисления, мг/дм <sup>3</sup>   Oxidation degree, mg/dm <sup>3</sup>	230	440	356
Альдегиды, мг/дм <sup>3</sup>   Aldehydes, mg/dm <sup>3</sup>	—	60	178
pH	3,4	3,4	3,0

Таблица 4.

Сравнительный состав ароматообразующих компонентов яблочного уксуса

Table 4.

Comparative composition of aroma-forming components apple cider vinegar

Летучие компоненты(мг/л) Volatile components(mg/l)	Яблочный уксус Sample I	Яблочный уксус Sample II	Яблочный уксус Sample III
Ацетальдегид   Acetaldehyde	2,02	-	0,62
Этилацетат   Ethyl acetate	32,97	10,1	2,7
Пропанол   Propanol	0,09	1,0	0,25
Этилбутират   Ethylbutyrate	2,92	-	0,3
Изобутанол   Isobutanol	9,00	10,8	0,35
Изоамилацетат   Isoamyl acetate	0,18	0,4	0,42
Бутанол   Butanol	2,7	3,0	0,2
Изоамилол   Isoamylol	5,62	1,9	6,6
Этикапронат   Ethicapronate	-	0,03	0,02
Гексанол + этиллактат   Hexanol + ethyl lactate	53,64	13,1	5,0
2-гептанол   2 heptanol	5,76	1,8	1,22
Этилкаприлат   Ethylcaprilate	0,9	0,9	0,12
Гексилвалерианат   Hexylvalerianate	4,05	-	0,22
Октилкапринат   Octylcaprinat	0,63	-	Следы
Этилкапринат   Ethylcaprinat	1,44	-	0,05
Этиллаурат   Ethylaurate	-	0,3	0,17
β-фенилэтанол   β-phenylethanol	96, 45	1,3	-

Содержание фенольных веществ в исследуемых образцах колебалось от 688,5 мг/дм<sup>3</sup> до 1282,5 мг/дм<sup>3</sup>, что, очевидно, обусловлено сортовыми особенностями перерабатываемых плодов и способом приготовления сока.

Исследование содержания мономерных форм фенольных веществ яблочных соков показало, что они изменяются от 69,7 мг/дм<sup>3</sup> (образец 4) до 180 мг/дм<sup>3</sup> (образец 5). Максимальное количество общего азота (89,0 мг/дм<sup>3</sup>) было обнаружено в образце 3. Наименьшее содержание (61,2 мг/дм<sup>3</sup>) – в образце 1. Образцы соков имели практически равный уровень содержания общего азота (6–67,2 мг/дм<sup>3</sup>, 7–71,1 мг/дм<sup>3</sup>). Содержание аминного азота колебалось в различных образцах от 32,0 мг/дм<sup>3</sup> до 53,6 мг/дм<sup>3</sup>. Наибольшее количество аминокислот обнаружено в образце 3 (53,6 мг/дм<sup>3</sup>), содержание же белковых веществ в нем составило 5,04 мг/дм<sup>3</sup>. Наименьшее содержание аминного азота было зафиксировано в образце 6 (32,0 мг/дм<sup>3</sup>, содержание белкового азота – 4,59 мг/дм<sup>3</sup>, т. е. на уровне предыдущего образца. Наибольшее количество белкового азота обнаружено в образце 4 (7,2 мг/дм<sup>3</sup>). Следует отметить, что наличие белкового азота в соках является нежелательным, так как большое их содержание в исходном сырье приводит к микробиальным и коллоидным помутнениям.

Содержание углеводов в представленных образцах находилось приблизительно на одном уровне. Содержание мономерных форм углеводов в представленных образцах колебалось от 77,2% (образец 5) до 99,3% (образец 1), на долю полимерных форм приходится от 2,2% (образец 3) до 0,7% (образец 1). Данные, представленные в таблице 2, свидетельствуют, что

большая часть углеводного состава приходится на долю фруктозы (5,2–6,3 г / 100 см<sup>3</sup>). В нескольких меньших количествах присутствует глюкоза 3,2–4,2 г / 100 см<sup>3</sup>. Содержание арабинозы колеблется от 0,2 г / 100 см<sup>3</sup> до 0,83 г./100 см<sup>3</sup>. Анализ углеводного состава яблочных соков свидетельствует об их высоких диетических свойствах, ввиду повышенного содержания фруктозы.

Проведенные исследования показывают, что наибольшее содержание азотистых, фенольных веществ и углеводов обнаруживается в образце 3. Очевидно, в данном случае повышенное содержание экстрактивных веществ обусловлено не только качественным составом яблок, но лучшим протеканием ОВ-процессов, экстракции и гидролиза биополимеров. В дальнейших исследованиях использовали соки сортов Мелба и Уэлси, т. к. они имели лучшую органолептику.

Яблочный уксус – продукт двойной ферментации – получают путем сбраживания углеводов яблок в этиловый спирт, а затем осуществляют биохимическое окисление этилового спирта до уксусной кислоты. При этом происходят значительные изменения химического состава яблочных соков и образуется продукт с совершенно новыми свойствами и составом [6,7].

На втором этапе было проведено исследование химического состава материалов в процессе ферментации. Сбраживание яблочного сока проводили на чистой культуре дрожжей Яблочная-7. Брожение осуществляли при температуре 20–22<sup>0</sup>С. Готовый сброженный сок спиртовали до 9% об и хранили до использования. Далее проводили уксуснокислое брожение глубинным способом.

С этой целью устанавливали стартовую концентрацию в культуральной смеси по уксусной кислоте 6,5–7,0% и по спирту 1,5–2% об. Контроль за ходом окисления осуществляли ежедневно. Динамика накопления уксусной кислоты представлена на рисунке 1. Как видно из рисунка 3.1, через трое суток содержание остаточного спирта в культуральной среде достигла 0,5% об, а содержание уксусной кислоты составило 7,5%.

В свежем яблочном соке, сброженно-спиртованном соке и уксусе определяли основные технологические и биохимические показатели.

Данные исследований представлены в таблице 3. Как видно из полученных данных, в процессе уксуснокислой ферментации снижалась спиртуозность, содержание фенольных веществ, фосфора, степень окисления, pH. Снижение содержания фенольных веществ обусловлено, очевидно, процессами полимеризации и поликонденсации, а также в результате образования и выпадения в осадок белково-танатного комплекса. Одновременно интенсивно протекали процессы кислото-, альдегидо- и эфиробразования, а также повышалось содержание аминного азота.

Сахаристость материалов в процессе окисления изменялась незначительно. Так содержание сахаров в сброженно-спиртованном яблочном соке составило 0,34 г./100 см<sup>3</sup>, а в уксусе – 0,3 г / 100 см<sup>3</sup>. Содержание общего азота в уксусе и сброженном материале практически находилось на одном уровне и составило соответственно 66,5 и 67,5 мг/дм<sup>3</sup>. В то же время замечено, что в процессе уксуснокислого брожения наблюдалось накопление аминного азота с 26,4 мг/дм<sup>3</sup> до 51,2 мг/дм<sup>3</sup>. Накопление аминокислот обычно связано с автолизом уксуснокислых бактерий, а не с их метаболизмом. Возможно, за счет этого происходит и незначительное увеличение общего азота. Вероятно, процессы автолиза происходят интенсивнее, чем образование белково-танатного комплекса. Величина pH снизилась с 3,4 до 3,0.

Содержание альдегидов в уксусе увеличилось почти в три раза по сравнению с яблочным материалами и составило 178 мг/дм<sup>3</sup>.

Исследовали состав ароматообразующих веществ различных образцов уксуса. Данные исследований представлены в таблице 4. Анализ полученных данных свидетельствует, что исследуемые образцы уксуса отличаются по составу и содержанию летучих компонентов. В первом образце яблочного уксуса содержится значительное количество легколетучих компонентов, таких как ацетальдегид и этилацетат. В яблочном уксусе синтезируются такие ароматообразующие вещества, как  $\beta$ -фенилэтанол, а также эфиры этилкаприлат, этилкапронат, этилкапринат и др.,

входящие в состав «энантового эфира» и придающие уксусу приятный фруктовый аромат. Как видно из полученных данных, в процессе уксуснокислой ферментации снижалась спиртуозность, содержание фенольных веществ, фосфора, степень окисления, pH. Снижение содержания фенольных веществ обусловлено, очевидно, процессами полимеризации и поликонденсации, а также в результате образования и выпадения в осадок белково-танатного комплекса. Одновременно интенсивно протекали процессы кислото-, альдегидо- и эфиробразования, а также повышалось содержание аминного азота.

Сахаристость материалов в процессе окисления изменялась незначительно. Так содержание сахаров в сброженно-спиртованном яблочном соке составило 0,34 г./100 см<sup>3</sup>, а в уксусе – 0,3 г / 100 см<sup>3</sup>. Содержание общего азота в уксусе и сброженном материале практически находилось на одном уровне и составило соответственно 66,5 и 67,5 мг/дм<sup>3</sup>. В то же время замечено, что в процессе уксуснокислого брожения наблюдалось накопление аминного азота с 26,4 мг/дм<sup>3</sup> до 51,2 мг/дм<sup>3</sup>. Согласно Петри [73] накопление аминокислот обычно связано с автолизом уксуснокислых бактерий, а не с их метаболизмом. Возможно, за счет этого происходит и незначительное увеличение общего азота. Вероятно, процессы автолиза происходят интенсивнее, чем образование белково-танатного комплекса. Величина pH снизилась с 3,4 до 3,0.

Содержание альдегидов в уксусе увеличилось почти в три раза по сравнению с яблочным материалами и составило 178 мг/дм<sup>3</sup>.

Исследовали состав ароматообразующих веществ различных образцов уксуса. Данные исследований представлены в таблице 4. Анализ полученных данных свидетельствует, что исследуемые образцы уксуса отличаются по составу и содержанию летучих компонентов. В первом образце яблочного уксуса содержится значительное количество легколетучих компонентов, таких как ацетальдегид и этилацетат. В яблочном уксусе синтезируются такие ароматообразующие вещества, как  $\beta$ -фенилэтанол, а также эфиры этилкаприлат, этилкапронат, этилкапринат и др., входящие в состав «энантового эфира» и придающие уксусу приятный фруктовый аромат.

### **Заключение**

В результате определения фракционного состава азотистых, фенольных веществ и углеводов яблочных соков установлено, что химический состав яблочных соков зависит от способа переработки яблок и их сортовых особенностей.

В процессе уксуснокислой ферментации яблочных материалов наблюдается изменение азотистых и фенольных веществ. При этом углеводный состав практически не изменяется.

При окислении яблочных материалов уксуснокислыми бактериями значительно интенсифицируются процессы альдегидообразования и эфиروобразования.

Анализ ароматических компонентов различных партий яблочного уксуса показал наличие в них таких веществ, как этилкапронат,  $\beta$ -фенилэтанол, этилкаприлат, которые входят в состав «энантовых эфиров».

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о разнообразии химического состава яблочных материалов и получаемого

из них уксуса. В целом химический состав яблочных материалов зависит от качества перерабатываемого сырья и технологических условий производства.

Мы считаем, что дальнейшие исследования, направленные на глубокое и всестороннее изучение факторов, обуславливающих эффективность процесса биохимического окисления, исследование динамики химического состава яблочных материалов в процессе уксуснокислой ферментации представляют несомненный интерес.

### Литература


- 1 Жуковская С.В., Бабаева М.В., Казарцев Д.А., Жиров В.М. Исследование динамики химического состава сброженных яблочных соков в процессе уксуснокислой ферментации // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 1–6. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-6
- 2 Оганесянц Л.А., Панасюк А.Л., Рейтблат Б.Б. Теория и практика плодового виноделия. М.: Промышленно-консалтинговая группа «Развитие» по заказу ГНУ ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, 2011.
- 3 Кандыбина А.В., Звягинцева М.Г., Комаров А.В., Россихин В.В. Яблочный уксус: приготовление и биологически активные вещества // News of Science and Education. 2017. Т. 3. № 9. С. 026–028.
- 4 Гончаровская И. В., Левон В. Ф. Содержание некоторых биологически активных веществ в яблочном уксусе с разных плодов *Malus Domestica* Borkh // От растения до лекарственного препарата. 2020. С. 217-222.
- 5 Еременко А.С., Синилова Ю.К., Голуб О.В. Оценка качественных характеристик яблочного уксуса // Оценка качества и безопасность потребительских товаров. 2020. С. 49-53.
- 6 Шумская Н.Н., Ломакина С.А., Сердюк В.А., Мальцева Т.А., Куц А.А. Органолептический и сравнительный анализ яблочного и яблочно-грушевого уксусов // Инновационные технологии в науке и образовании (конференция «ИТНО 2020»). 2020. С. 504-507.
- 7 Панасюк А.Л., Кузьмина Е.И., Борисова А.Л. Новое направление в производстве пищевого уксуса // Пищевая промышленность. 2017. № 7. С. 58–60.
- 8 Carballo D., Fernández-Franzón M., Ferrer E., Pallarés N. et al. Dietary Exposure to Mycotoxins through Alcoholic and Non-Alcoholic Beverages in Valencia, Spain // Toxins. 2021. V. 13. №. 7. P. 438. doi: 10.3390/toxins13070438
- 9 Rodríguez-Ramos R., Socas-Rodríguez B., Santana-Mayor Á., Rodríguez-Delgado M.Á. A simple, fast and easy methodology for the monitoring of plastic migrants in alcoholic and non-alcoholic beverages using the QuEChERS method prior to gas chromatography tandem mass spectrometry // Analytical and bioanalytical chemistry. 2020. V. 412. №. 7. P. 1551-1561. doi:10.1007/s00216-019-02382-0
- 10 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi-automated continuous solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non-alcoholic drinks from Andalucía (Spain) // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019. V. 99. №. 3. V. 1117-1125. doi: 10.1002/jsfa.9279
- 11 Jia M., Joyce J.D., Bertke A.S. SARS-CoV-2 survival in common non-alcoholic and alcoholic beverages // Foods. 2022. V. 11. №. 6. P. 802. doi: 10.3390/foods11060802
- 12 Yabaci Karaoglan S., Jung R., Gauthier M., Kincl T. et al. Maltose-Negative Yeast in Non-Alcoholic and Low-Alcoholic Beer Production // Fermentation. 2022. V. 8. №. 6. P. 273. doi: 10.3390/fermentation8060273
- 13 Salanță L.C., Coldea T.E., Ignat M.V., Pop C.R. et al. Non-alcoholic and craft beer production and challenges // Processes. 2020. V. 8. №. 11. P. 1382. doi: 10.3390/pr8111382
- 14 Rezaei H., Moazzen M., Shariatifar N., Khaniki G.J. et al. Measurement of phthalate acid esters in non-alcoholic malt beverages by MSPE-GC/MS method in Tehran city: chemometrics // Environmental Science and Pollution Research. 2021. V. 28. №. 37. P. 51897-51907. doi: 10.1007/s11356-021-14290-x
- 15 Baschali A., Tsakalidou E., Kyriacou A., Karavasiloglou N. et al. Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group // Nutrition Research Reviews. 2017. V. 30. №. 1. P. 1-24.
- 16 Castro-Muñoz R. Membrane technologies for the production of nonalcoholic drinks // Trends in non-alcoholic beverages. 2020. P. 141-165. doi: 10.1016/B978-0-12-816938-4.00005-7
- 17 Lavefve L., Marasini D., Carbonero F. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health // Advances in food and nutrition research. 2019. V. 87. P. 147-185. doi:10.1016/bs.afnr.2018.09.001
- 18 Díaz-Ufano M.L.L. Consumption estimation of non alcoholic beverages, sodium, food supplements and oil // Nutrición Hospitalaria. 2015. V. 31. №. 3. P. 70-75.
- 19 Suter R., Miller C., Gill T., Coveney J. The bitter and the sweet: a cultural comparison of non-alcoholic beverage consumption in Japan and Australia // Food, Culture & Society. 2020. V. 23. №. 3. P. 334-346. doi: 10.1080/15528014.2019.1679548
- 20 Bellut K., Michel M., Zarnkow M., Hutzler M. et al. Screening and application of *Cyberlindnera* yeasts to produce a fruity, non-alcoholic beer // Fermentation. 2019. V. 5. №. 4. P. 103. doi: 10.3390/fermentation5040103

## References


- 1 Zhukovskaya S.V., Babaeva M.V., Kazartsev D.A., Zhiron V.M. Study of the dynamics of the chemical composition of fermented apple juices in the process of acetic acid fermentation. *Proceedings of VSUET*. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 1–6. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-6 (in Russian).
- 2 Oganesyants L.A., Panasyuk A.L., Reitblat B.B. Theory and practice of fruit winemaking. Moscow, Industrial consulting group "Razvitie" commissioned by the State Scientific Institution All-Russian Research Institute of the brewing, non-alcoholic and wine industry, 2011. (in Russian).
- 3 Kandybina A.V., Zvyagintseva M.G., Komarov A.V., Rossikhin V.V. Apple cider vinegar: preparation and biologically active substances. *News of Science and Education*. 2017. vol. 3. no. 9. pp. 026–028. (in Russian).
- 4 Goncharovskaya I. V., Levon V. F. The content of some biologically active substances in apple cider vinegar from different fruits of *Malus Domestica* Borkh. From a plant to a drug. 2020. pp. 217-222. (in Russian).
- 5 Eremenko A.S., Sinilova Yu.K., Golub O.V. Evaluation of the qualitative characteristics of apple cider vinegar. Quality assessment and safety of consumer goods. 2020. pp. 49-53. (in Russian).
- 6 Shumskaya N.N., Lomakina S.A., Serdyuk V.A., Maltseva T.A., Kuts A.A. Organoleptic and comparative analysis of apple and apple-pear vinegar. Innovative technologies in science and education (conference "ITNO 2020"). 2020. pp. 504-507. (in Russian).
- 7 Panasyuk A.L., Kuzmina E.I., Borisova A.L. A new direction in the production of food vinegar. *Food Industry*. 2017. no. 7. pp. 58–60. (in Russian).
- 8 Carballo D., Fernández-Franzón M., Ferrer E., Pallarés N. et al. Dietary Exposure to Mycotoxins through Alcoholic and Non-Alcoholic Beverages in Valencia, Spain. *Toxins*. 2021. vol. 13. no. 7. pp. 438. doi: 10.3390/toxins13070438
- 9 Rodríguez-Ramos R., Socas-Rodríguez B., Santana-Mayor Á., Rodríguez-Delgado M.Á. A simple, fast and easy methodology for the monitoring of plastic migrants in alcoholic and non-alcoholic beverages using the QuEChERS method prior to gas chromatography tandem mass spectrometry. *Analytical and bioanalytical chemistry*. 2020. vol. 412. no. 7. pp. 1551-1561. doi:10.1007/s00216-019-02382-0
- 10 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi-automated continuous solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non-alcoholic drinks from Andalucía (Spain). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019. vol. 99. no. 3. vol. 1117-1125. doi: 10.1002/jsfa.9279
- 11 Jia M., Joyce J.D., Bertke A.S. SARS-CoV-2 survival in common non-alcoholic and alcoholic beverages. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 6. pp. 802. doi: 10.3390/foods11060802
- 12 Yabaci Karaoglan S., Jung R., Gauthier M., Kincl T. et al. Maltose-Negative Yeast in Non-Alcoholic and Low-Alcoholic Beer Production. *Fermentation*. 2022. vol. 8. no. 6. pp. 273. doi: 10.3390/fermentation8060273
- 13 Salanță L.C., Coldea T.E., Ignat M.V., Pop C.R. et al. Non-alcoholic and craft beer production and challenges. *Processes*. 2020. vol. 8. no. 11. pp. 1382. doi: 10.3390/pr8111382
- 14 Rezaei H., Moazzen M., Shariatifar N., Khaniki G.J. et al. Measurement of phthalate acid esters in non-alcoholic malt beverages by MSPE-GC/MS method in Tehran city: chemometrics. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. vol. 28. no. 37. pp. 51897-51907. doi: 10.1007/s11356-021-14290-x
- 15 Baschali A., Tsakalidou E., Kyriacou A., Karavasiloglou N. et al. Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group. *Nutrition Research Reviews*. 2017. vol. 30. no. 1. pp. 1-24.
- 16 Castro-Muñoz R. Membrane technologies for the production of nonalcoholic drinks. *Trends in non-alcoholic beverages*. 2020. pp. 141-165. doi: 10.1016/B978-0-12-816938-4.00005-7
- 17 Lavefve L., Marasini D., Carbonero F. Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health. *Advances in food and nutrition research*. 2019. vol. 87. pp. 147-185. doi:10.1016/bs.afnr.2018.09.001
- 18 Díaz-Ufano M.L.L. Consumption estimation of non alcoholic beverages, sodium, food supplements and oil. *Nutrición Hospitalaria*. 2015. vol. 31. no. 3. pp. 70-75.
- 19 Suter R., Miller C., Gill T., Coveney J. The bitter and the sweet: a cultural comparison of non-alcoholic beverage consumption in Japan and Australia. *Food, Culture & Society*. 2020. vol. 23. no. 3. pp. 334-346. doi: 10.1080/15528014.2019.1679548
- 20 Bellut K., Michel M., Zarnkow M., Hutzler M. et al. Screening and application of *Cyberlindnera* yeasts to produce a fruity, non-alcoholic beer. *Fermentation*. 2019. vol. 5. no. 4. pp. 103. doi: 10.3390/fermentation5040103

## Сведения об авторах

**Светлана В. Жуковская** к.х.н., доцент, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, zhu2165@yandex.ru


 <https://orcid.org/0000-0002-2324-6340>

**Мария В. Бабаева** к.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, m-babaeva@mail.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-2258-3828>

## Information about authors

**Svetlana V. Zhukovskaya** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, zhu2165@yandex.ru


 <https://orcid.org/0000-0002-2324-6340>

**Maria V. Babaeva** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, m-babaeva@mail.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-2258-3828>



**Дмитрий А. Казарцев** к.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени 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>

**Владимир М. Жиров** к.т.н., доцент, нач. отдела стандартизации, АО «РОССПИРТПРОМ», Кутузовский проспект, д. 34, стр. 21, г. Москва, 121170, Россия, zhirov.vladimir@rosspirtprom.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8519-1082>

**Дмитрий А. Воробьев** магистрант, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии имени Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, dmitwor@mail.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.

**Dmitry A. Kazartsev** Cand. Sci. (Engin.), technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, kda\_79@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

**Vladimir M. Zhirov** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, beginning. department, JSC ROSSPIRTIPROM, Kutuzovsky prospect, 34, building 21, Moscow, 121170, Russia, zhirov.vladimir@rosspirtprom.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8519-1082>

**Dmitry A. Vorobjov** master student, technology of winemaking, fermentation industries and chemistry named after G.G. Agabalyants, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Zemlyanoy Val street 73, Moscow, 109004, Russia, dmitwor@mail.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.

<b>Поступила</b> 11/10/2022	<b>После редакции</b> 02/11/2022	<b>Принята в печать</b> 25/11/2022
<b>Received</b> 11/10/2022	<b>Accepted in revised</b> 02/11/2022	<b>Accepted</b> 25/11/2022



## Перспективы методов вычислительной гидродинамики при исследовании мембранных процессов

Андрей И. Ключников <sup>1</sup>	<a href="mailto:kaivanov@mail.ru">kaivanov@mail.ru</a>	 0000-0002-5306-0328
Виталий Ю. Овсянников <sup>1</sup>	<a href="mailto:eows2003@mail.ru">eows2003@mail.ru</a>	 0000-0001-9388-6303
Дина В. Ключникова <sup>1</sup>	<a href="mailto:dina.key@mail.ru">dina.key@mail.ru</a>	
Артем М. Давыдов <sup>2</sup>	<a href="mailto:davydov.am@rea.ru">davydov.am@rea.ru</a>	 0000-0001-5308-4752




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

2 Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, пер. Стремянный, 36, г. Москва, 117997, Россия

**Аннотация.** При математическом моделировании мембранных процессов изучение структурных особенностей используемых мембран и существенная ограниченность информации при формальном описании их разделительных свойств привели к разработке физических моделей, учитывающих не только особенности строения реальных мембран, но и их особенностей функционирования. При составлении физических моделей мембранных процессов, невозможно объективно провести количественный учет большинства факторов из-за их большого многообразия и изменчивости, что далеко отдалает математическую модель от реального процесса. Именно поэтому методы вычислительной гидродинамики надежно и эффективно выполняют расчеты для всех физических моделей и типов, включая стационарное или переходное течение, несжимаемое или сжимаемое течение (от малых дозвуковых до гиперзвуковых), моделирование ламинарных или турбулентных потоков, ньютоновских или неньютоновских жидкостей, идеального или реального газа. Была построена электронная геометрическая модель установки, осуществлен выбор геометрии сетки с различной плотностью для оптимизации времени расчетов и точности решения для конкретного случая, рассчитана кинетическая зависимость роста клеток, определены расходы подачи питательной среды во внутриволоконное и межволоконное пространства биореактора, проанализированы гидродинамические условия.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, вычислительная гидродинамика, мембранный модуль, мембранный биореактор, концентрационная поляризация, культивирование.

## Perspectives of computational fluid dynamics methods in the study of membrane processes

Andrey I. Klyuchnikov <sup>1</sup>	<a href="mailto:kaivanov@mail.ru">kaivanov@mail.ru</a>	 0000-0002-5306-0328
Vitaly Yu. Ovsyannikov <sup>1</sup>	<a href="mailto:eows2003@mail.ru">eows2003@mail.ru</a>	 0000-0001-9388-6303
Dina V. Klyuchnikova <sup>1</sup>	<a href="mailto:dina.key@mail.ru">dina.key@mail.ru</a>	
Artem M. Davydov <sup>2</sup>	<a href="mailto:davydov.am@rea.ru">davydov.am@rea.ru</a>	 0000-0001-5308-4752

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

2 Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, 117997, Russia

**Abstract.** In mathematical modeling of membrane processes, the study of structural features of used membranes and the significant limitation of information in the formal description of their separation properties led to the development of physical models that take into account not only the features of structures of real membranes, but also their peculiarities of functioning. When compiling physical models of membrane processes, it is impossible to objectively quantify most of the factors due to their great diversity and variability, which distances the mathematical model from the real process. That is why methods of computational fluid dynamics reliably and efficiently perform calculations for all physical models and types, including stationary or transient flow, incompressible or compressible flow (from small subsonic to hypersonic), simulation of laminar or turbulent flows, Newtonian or non-Newtonian fluids, ideal or real gas. An electronic geometric model of the plant was built, a choice of mesh geometry with different densities was made to optimize the calculation time and solution accuracy for a particular case, the kinetic dependence of cell growth was calculated, the flow rates of feeding medium into the intra- and inter-fiber spaces of the bioreactor were determined, and the hydrodynamic conditions were analyzed.

**Keywords:** mathematical modeling, computational fluid dynamics, membrane module, membrane bioreactor, concentration polarization, cultivation.

Для цитирования

Ключников А.И., Овсянников В.Ю., Ключникова Д.В., Давыдов А.М. Перспективы методов вычислительной гидродинамики при исследовании мембранных процессов // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 32–42. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-32-42

For citation

Klyuchnikov A.I., Ovsyannikov V.Y., Klyuchnikova D.V., Davydov A.M. Perspectives of computational fluid dynamics methods in the study of membrane processes. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 32–42. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-32-42

## Введение

При математическом моделировании мембранных процессов изучение структурных особенностей используемых мембран и существенная ограниченность информации при формальном описании их разделительных свойств привели к разработке физических моделей, учитывающих не только особенности строений реальных мембран, но и их особенностей функционирования.

Любая физическая модель мембранного процесса, ввиду его сложности, не отражает всех сторон явления (вследствие хотя бы чрезмерной громоздкости конечных аналитических выражений). Также, модель проверяют на реальных физико-химических объектах (мембрана и культуральная жидкость), возмущаемых налагаемой разностью химического потенциала (градиент давления и концентрации по обе стороны мембраны), т. е. система принципиально неравновесна и, в лучшем случае, стационарна.

Особенности реализации физических моделей на конкретных технологических жидкостях весьма разнообразны, что часто приводит к достаточно неожиданным результатам и, поэтому, они находятся в центре внимания многих исследователей.

При составлении физических моделей мембранных процессов, невозможно объективно провести количественный учет большинства факторов из-за их большого многообразия и изменчивости, что далеко отдалает математическую модель от реального процесса.

Именно поэтому методы вычислительной гидродинамики надежно и эффективно выполняют расчеты для всех физических моделей и типов, включая стационарное или переходное течение, несжимаемое или сжимаемое течение (от малых дозвуковых до гиперзвуковых), моделирование ламинарных или турбулентных потоков, ньютоновских или неньютоновских жидкостей, идеального или реального газа.

На данный момент в мире существует ряд универсальных коммерческих программных продуктов для решения задач вычислительной гидродинамики. Среди ведущих зарубежных коммерческих пакетов можно выделить такие, как «ANSYS FLUENT» и «ANSYS CFX» корпорации ANSYS Inc, «STAR-CD/STAR-CCM+» компании CD-adapco Group, позволяющие проводить моделирование широкого класса физических процессов в научных и инженерных областях. Существуют и отечественные универсальные коммерческие пакеты: Flow Vision компании TECIC, Gas Dynamics Tool компании GDT Software Group.

В основе данных методов находится комплекс программ, подходящих для проектирования, расчетов и решения проблем, связанных с описанием потоков жидкости внутри мембранного модуля.

Для полноценного изучения сложных физических явлений, в особенности одновременного протекания мембранного и биотехнологического процессов, необходимо проведение на практике большого количества дорогостоящих экспериментов, чего можно избежать благодаря моделированию с помощью методов CFD [1–6].

Известно, что образование на поверхности мембран гелевого слоя, в котором концентрация растворенного вещества больше, чем в основном объеме раствора, носит название концентрационной поляризации. Отрицательное воздействие данного явления на мембранные процессы разделения и концентрирования вызвано следующими аспектами:

- уменьшается перепад давлений над и под мембраной, т. к. растет осмотическое давление исходной жидкости, сопровождающееся уменьшением удельной проницаемости и избирательной задерживающей способностью мембран;
- сокращается эксплуатационный период использования мембран, определяющий, в конечном итоге, стоимость мембранного процесса.

Для оценки уровня концентрационной поляризации на поверхности мембран, выяснения характера и механизма гелеобразования также могут быть использованы методы CFD [7]. Кроме того, можно посчитать крутящие моменты, силу механического сдвига и влияние вязкости жидкости на гидродинамику потоков через мембрану. Например, в работе [8] с помощью методов CFD изучен эффект влияния геометрической формы микропор мембран на гидродинамику потоков культуральной жидкости. В работе [9] методами CFD авторы исследуют области мембраны, которые наиболее склонны к гелеобразованию. В исследовании [10] авторы на основании полученной CFD-картины процессов и явлений прогнозируют механизм оседания частиц на мембранную поверхность мембраны.

Таким образом, CFD-моделирование является одним из перспективных инструментов исследования и оптимизации мембранных процессов, протекающих с участием жидких и газовых потоков в пищевом, химическом и биотехнологическом производствах [11].

Следует отметить, что, несмотря на очевидные преимущества CFD-программного комплекса, все же не стоит пренебрегать экспериментальной проверкой результатов моделирования для более точной оценки адекватности математической модели.

### Методы

Рассмотрим основные принципы, заложенные в математическое моделирование с помощью методов CFD.

Решатель «ANSYS FLUENT» основан на методе конечных объемов, при этом: область течения разделяется на конечное множество контрольных объемов; в этом множестве контрольных

объемов решаются уравнения сохранения массы, импульса, энергии и т. д.; уравнения в частных производных дискретизируются в систему алгебраических уравнений; затем производится численное решение этих алгебраических уравнений в расчетной области.

Приведем конкретный пример, основанный на изучении работ [12–15].

Уравнения для расчёта гидродинамических условий внутри полых волокон мембранного биореактора. Основные уравнения, используемые для описания потоков, являются уравнение сохранения массы и импульса, которые для нестационарных условий имеют следующий вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + \rho \frac{\partial v_y}{\partial y} + \rho \frac{\partial v_z}{\partial z} = -J; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_x}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \rho \frac{\partial v_x}{\partial z} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_x}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \rho \frac{\partial v_x}{\partial z} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) + \rho g; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_z}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \rho \frac{\partial v_z}{\partial z} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right); \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность культуральной жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$  – скорость культуральной жидкости вдоль осей ОХ, ОУ и ОZ соответственно, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения м/с<sup>2</sup>;  $J$  – поток культуральной среды, переходящий из внутриволоконного пространства в межволоконное через мембрану, кг/(м×с<sup>2</sup>);  $P$  – давление, Па;  $\mu$  – динамическая вязкость культуральной среды, Па×с;  $\tau$  – продолжительность процесса;  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – координаты, м.

В правой части уравнений (1)–(4) находятся параметры, описывающие изменение импульса за счёт градиента давления и за счёт сил вязкостного трения. Третий параметр в уравнении (2) описывает изменение импульса за счёт силы тяжести.

Поток культуральной жидкости, прошедший через мембрану, описывается уравнением Хагена-Пуазейля следующего вида:

$$J = \begin{cases} \frac{\varepsilon r_n^2 S \rho \Delta P}{8 \mu \delta T}; \\ 0, \text{ при } x_{m1}^1, y_{m1}^1, z_{m1}^1. \end{cases} \quad (5)$$

где  $\varepsilon$  – количество пор на единицу поверхности мембраны, 1/м<sup>2</sup>;  $r_n$  – средний радиус пор, м;  $S$  – площадь поверхности мембраны, м<sup>2</sup>;  $\delta$  – показатель кривизны пор;  $T$  – толщина мембраны, м.

Начальные и граничные условия для внутриволоконного пространства мембранного биореактора имеют вид:

$$\vec{v}(x_{cm}, y_{cm}, z_{cm}) = 0; \quad (6)$$

$$\vec{v}(x_{ex}, y_{ex}, z_{ex}) = \vec{v}_{ex}; \quad (7)$$

$$P(x_{ex}, y_{ex}, z_{ex}) = P_{ex}; \quad (8)$$

$$\vec{v}(t=0) = \vec{v}_{01}; \quad (9)$$

$$\rho(t=0) = \overline{\rho}_{01}. \quad (10)$$

Граничное условие (6) определяет условие прилипания культуральной жидкости к непроницаемым стенкам биореактора, а условие (7) определяет скорость культуральной жидкости на входе во внутриволоконное пространство мембранного биореактора. Условие (8) задает давление культуральной жидкости на входе в мембранный биореактор.

Уравнения для расчета гидродинамических условий в межволоконном пространстве мембранного биореактора. Для межволоконной области основными уравнениями, по аналогии с (1)–(4), также являются уравнения сохранения массы и импульса, уравнения (11)–(14).

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + \rho \frac{\partial v_y}{\partial y} + \rho \frac{\partial v_z}{\partial z} = I + J; \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_y}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_z \rho \frac{\partial v_y}{\partial x} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right); \end{aligned} \quad (13)$$

В правой части уравнения (11) находятся слагаемые, описывающие приток массы за счёт потока культуральной жидкости, перетекающей из внутриволоконного пространства в межволоконное, и убыль массы за счёт поглощения клетками питательных веществ, необходимых для их жизнедеятельности. Приток массы, перетекающей из внутриволоконного в межволоконное пространство, описывается выражением (5).

Количество массы, потребляемое клетками, рассчитывается:

$$I = \int_1^N q_c(t) dt \quad (15)$$

где  $N$  – число клеток;  $q_c$  – скорость потребления питательной среды одной клеткой.

Набор начальных и граничных условий для системы уравнений межволоконного пространства мембранного биореактора имеет следующий вид:

$$\vec{v}(x_{cm}, y_{cm}, z_{cm}) = 0; \quad (16)$$

$$\vec{v}(x_{ex}, y_{ex}, z_{ex}) = \vec{v}_1; \quad (17)$$

$$P(x_{ex}, y_{ex}, z_{ex}) = P_a; \quad (18)$$

$$\vec{v}(t=0) = \vec{v}_{02}; \quad (19)$$

$$\rho(t=0) = \overline{\rho}_{02}. \quad (20)$$

Граничное условие (16) определяет условие прилипания культуральной жидкости к непроницаемым стенкам биореактора, а условие (17) определяет скорость среды на входе в межволоконное пространство биореактора. Выражение (18) задает давление среды на выходе из межволоконного пространства биореактора [12–15].

### Результаты

В качестве мембранного биореактора для физического эксперимента авторами [12–15] использовался модуль на основе полых волокон C2008 FiberCell System. Технические характеристики биореактора указаны в таблице 1.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_x}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_z \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) + \rho g; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_z}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_z \rho \frac{\partial v_z}{\partial x} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right); \end{aligned} \quad (14)$$

Таблица 1.

Техническая характеристика мембранного биореактора C2008 FiberCell System [12–14]

Table 1.

Technical characteristics of the membrane bioreactor C2008 FiberCell System [12–14]

Наименование параметра	Показатель
Количество полых волокон	60
Диаметр полого волокна, мкм	700
Диаметр полого волокна, мкм	1300
Толщина полого волокна, мкм	300
Длина полого волокна, мм	110
Диаметр корпуса, мм	220
Длина мембранного модуля, мм	130

Мембранный биореактор C2008 FiberCell System представлял собой картридж (рисунок 1), заполненный полыми волокнами. Волокна имели различные диаметры пор для диффузии молекул с молекулярной массой 5 кДа, 20 кДа и более.



Рисунок 1. Мембранный биореактор C2008 FiberCell System

Figure 1. Membrane bioreactor Since 2008 FiberCell System

Культуральная среда прокачивалась через полые волокна и обеспечивала рост клеток в ограниченном пространстве на их поверхности. Полые волокна создавали полупроницаемый барьер с заданными свойствами между пространством, где культивировались клетки, и протекающей средой.

В процессе секретирования продукты концентрировались в малых объемах межволоконного пространства, где их концентрация могла достигать значений в 100 раз больших, чем при проведении аналогичного процесса в колбах или в роллерных бутылках.

### Обсуждение

Авторами [12–14] было проведено CFD-моделирование гидродинамических условий в мембранном биореакторе на основе полых волокон при полном их заполнении клетками и с учетом рассчитанной величины коэффициента проницаемости мембраны.

На основании предложенного автором [12] ранее проточного режима подачи питательной среды в межволоконное пространство относительно внутриволоконного, входными являются патрубки 1 и 2 (рисунок 2), выходными 3 и 4. Красным цветом указаны потоки питательной среды во внутриволоконном пространстве, синим цветом – потоки в межволоконном пространстве.

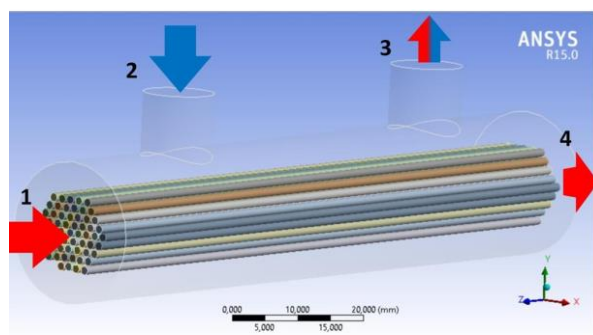


Рисунок 2. Схема движения потоков питательной среды в полуволоконном мембранном биореакторе (по данным Сафарова Р. Р.) [12]

Figure 2. Scheme of the movement of nutrient medium flows in a hollow-fiber membrane bioreactor (according to R. R. Safarov) [12].

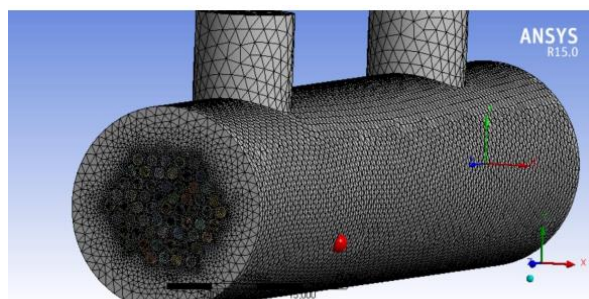


Рисунок 3. Сеточная модель полуволоконного мембранного биореактора (по данным Сафарова Р. Р.) [12]

Figure 3. Grid model of a hollow-fiber membrane bioreactor (according to Safarov R. R.) [12]

Расчетная сетка биореактора с 60-ю волокнами содержала 12 млн ячеек с минимальным размером ячейки в зоне повышенной плотности сетки, равным 0,1 мм (см. рисунок 3).

В результате расчета автором [12] получено скоростное распределение движения потоков в межволоконном пространстве. Для 2-х дней культивирования гидродинамика потоков представлена на рисунке 4, анализируя который можно сделать вывод о равномерном распределении потока в большей части биореактора.

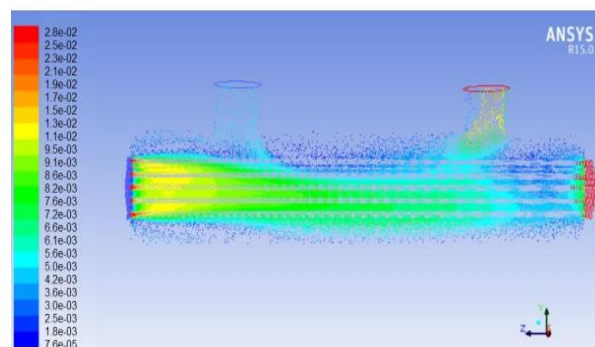


Рисунок 4. Схема распределения скоростей потоков в межволоконном пространстве полуволоконного мембранного биореактора для 2-х дней культивирования (течение среды – слева направо (по данным Сафарова Р. Р.) [12]

Figure 4. Scheme of the distribution of flow rates in the interfiber space of a hollow fiber membrane bioreactor for 2 days of cultivation (the flow of the medium is from left to right (according to Safarov R. R.) [12]

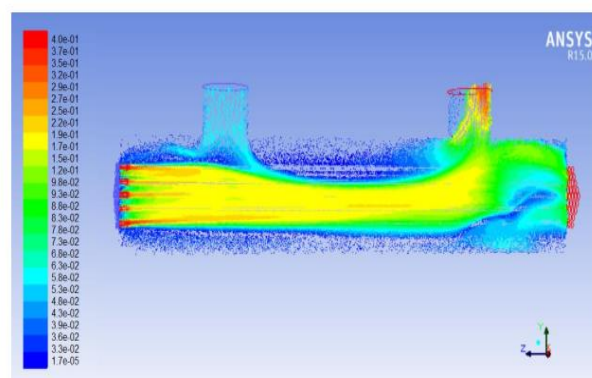


Рисунок 5. Схема распределения скоростей потоков в межволоконном пространстве полуволоконного мембранного биореактора на 8-ой день культивирования направо (по данным Сафарова Р. Р.) [12]

Figure 5. Scheme of the distribution of flow rates in the interfiber space of the hollow fiber membrane bioreactor on the 8th day of cultivation to the right (according to Safarov R. R.) [12]



## Заключение

Визуализация гидродинамической картины для последнего этапа культивирования отражена на рисунке 5. В левой части мембранного биореактора, а также в центральной области между боковыми патрубками автором [12] наблюдались области низких скоростей. Однако, рассчитанная минимальная скорость потока в межволоконном пространстве меньше скоростей в рассматриваемых областях, поэтому автором [12] сделан вывод об отсутствии застойных зон на первых этапах культивирования.

Автором [12] отмечены области, в которых скорость имела максимальное значение (рисунок 5). Данные области относились к зоне входа питательной среды во внутриволоконное пространство биореактора, а также к зоне выхода питательной среды из межволоконного пространства (патрубок 3, рисунок 2). По мнению Сафарова Р.Р., данные зоны не содержали поверхности с прикрепленными клетками, поэтому рассматриваемые скоростные пики не оказывали пагубного влияния на процесс [12–15].

В рассмотренном выше примере, авторами [12–15] проведен наглядный анализ возможности использования вычислительной гидродинамики CFD для расчета гидродинамики потоков в мембранном биореакторе на основе полых волокон. Авторами [12–15], в частности, Сафаровым Р.Р. была построена электронная геометрическая модель установки, осуществлен выбор геометрии сетки с различной плотностью для оптимизации времени расчетов и точности решения для конкретного случая, рассчитана кинетическая зависимость роста клеток, определены расходы подачи питательной среды во внутриволоконное и межволоконное пространство биореактора, проанализированы гидродинамические условия.

Все вышесказанное подтверждает перспективы использования CFD-методов для моделирования мембранных процессов, осложненных культивированием клеток на поверхности мембран.

## Литература

- 1 Dash S., Mohanty S. Separation of lanthanum and neodymium in a hollow fiber supported liquid membrane: CFD modelling and experimental validation // *Minerals Engineering*. V. 180. April 2022. DOI 10.1016 / j.mineng. 2022.107472.
- 2 Wang H. et al. CFD-DEM Study of Bridging Mechanism of Particles in Ceramic Membrane Pores under Surface Filtration Conditions // *Processes Open Access*. V. 10, Issue 3, March 2022. DOI 10.3390/pr 10030475.
- 3 Gu B. et al. Correlations for concentration polarization and pressure drop in spacer-filled RO membrane modules based on CFD simulations // *Membranes Open Access*. V. 11, Issue 5. May 2021. DOI 10.3390/membranes 11050338.
- 4 Al-Abbasi O., Bin Shams M. Dynamic CFD modelling of an industrial-scale dead-end ultrafiltration system: Full cycle and complete blockage // *Journal of Water Process Engineering*. V. 40. April 2021. DOI 10.1016/j.jwpe.2020.101887.
- 5 Zoubeik M., Salama A., Henni A. A novel antifouling technique for the crossflow filtration using porous membranes: Experimental and CFD investigations of the periodic feed pressure technique // *Water Research*. V. 146, P. 159–1761. December 2018. DOI 10.1016/j.watres.2018.09.027.
- 6 Banik A., Bandyopadhyay T.K., Biswal S.K. Computational fluid dynamics (CFD) simulation of cross-flow mode operation of membrane for downstream processing // *Recent Patents on Biotechnology*. V. 13, Issue 1. DOI 10.2174 / 1872208312666180924160017.
- 7 Yang X., Wang S., Hu B., Zhang K., He Y. Estimation of concentration polarization in a fluidized bed reactor with Pd-based membranes via CFD approach // *Journal of Membrane Science*. V. 581, P. 262–269. July 2019. DOI 10.1016 / j.memsci.2019.03.068.
- 8 Wang, Y. CFD simulation of membrane filtration zone in a submerged hollow fiber membrane bioreactor using a porous media approach / Y. Wang, Brannock Matthew, S. Cox // *Jornal of membrane science*. – 2010. – Vol. 363. – P. 57–66.
- 9 Madaeni, S.S. Investigation of cake deposition on various parts of the surface of microfiltration membrane due to fouling / S.S. Madaeni, M. Rahimi, M. Abolhasani // *Korean J Chem Eng*. – 2010. – Vol. 27. – P. 206–213.
- 10 Rahimi, M. CFD and experimental studies of fouling of a microfiltration membrane / M. Rahimi, S.S. Madaenia, M. Abolhasania // *Chem Eng Process*. – 2009. – Vol. 48. – P. 1405–1413.
- 11 Платонов Д.В. и др. Сравнительный анализ CFD-пакетов SIGMAFLOW и ANSYS FLUENT на примере решения ламинарных тестовых задач // *Вестник Томского государственного университета*. – 2013. – № 1(21) С. 84–94.
- 12 Сафаров Р.Р. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2016. – 182 с. (специальность 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий»).
- 13 Гусева Е.В. и др. Подход к моделированию, масштабированию и оптимизации работы биореакторов на основании вычислительной гидродинамики [Текст] Е.В. Гусева, Р.Р. Сафаров, Н.В. Меньшутина // *Программные продукты и системы*. 2015. № 4 (112). С. 261–267.
- 14 Safarov R., et al. Application of CFD to model batch and membrane bioreactors // *Proceedings of 21 st International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2014 Prague 17 th Conference on Process Integration, Modelling and Optimization for Energy Saving and Pollution Reduction*. Prague, Czech Republic, 23–27 August 2014.
- 15 Guseva E., Safarov R., Menshutina N. Modelling of hollow-fiber membrane bioreactor by CFD // *Proceeding of 10 th European Congress of Chemical Engineering, 3 rd European Congress of Applied Biorechnology, 5 th European Process Intensification Conference*. Nice, 2015. P. 1225.

## References

- 1 Dash S., Mohanty S. Separation of lanthanum and neodymium in a hollow fiber supported liquid membrane: CFD modeling and experimental validation. *Minerals Engineering*. V. 180. April 2022. DOI 10.1016/j.mineng.2022.107472.
- 2 Wang H. et al. CFD-DEM Study of Bridging Mechanism of Particles in Ceramic Membrane Pores under Surface Filtration Conditions. *Processes* Open access. V. 10, Issue 3, March 2022. DOI 10.3390/pr.10030475.
- 3 Gu B. et al. Correlations for concentration polarization and pressure drop in spacer-filled RO membrane modules based on CFD simulations. *Membranes* Open Access. V. 11, Issue 5. May 2021. DOI 10.3390/membranes.11050338.
- 4 Al-Abbasi O., Bin Shams M. Dynamic CFD modeling of an industrial-scale dead-end ultrafiltration system: Full cycle and complete blockage. *Journal of Water Process Engineering*. V. 40. April 2021. DOI 10.1016/j.jwpe.2020.101887.
- 5 Zoubek M. et al. A novel antifouling technique for the cross-flow filtration using porous membranes: Experimental and CFD investigations of the periodic feed pressure technique. *Water Research*. V. 146, P. 159–176. DOI 10.1016/j.watres.2018.09.027.
- 6 Banik A. et al. Computational fluid dynamics (CFD) simulation of cross-flow mode operation of membrane for downstream processing. *Recent Patents on Biotechnology*. V. 13, Issue 1. DOI 10.2174/1872208312666180924160017.
- 7 Yang X. et al. Estimation of concentration polarization in a fluidized bed reactor with Pd-based membranes via CFD approach. *Journal of Membrane Science*. V. 581, P. 262–269. July 2019. DOI 10.1016/j.memsci.2019.03.068.
- 8 Wang, Y. CFD simulation of membrane filtration zone in a submerged hollow fiber membrane bioreactor using a porous media approach / Y. Wang, Brannock Matthew, S. Cox. *Journal of membrane science*. – 2010. – Vol. 363. – P. 57–66.
- 9 Madaeni, S.S. Investigation of cake deposition on various parts of the surface of microfiltration membrane due to fouling / S.S. Madaeni, M. Rahimi, M. Abolhasani. *Korean J Chem Eng*. – 2010. – Vol. 27. – P. 206–213.
- 10 Rahimi, M. CFD and experimental studies of fouling of a microfiltration membrane / M. Rahimi, S.S. Madaeni, M. Abolhasani. *Chem Eng Process*. – 2009. – Vol. 48. – P. 1405–1413.
- 11 Platonov D.V. et al. Comparative analysis of CFD packages SIGMAFLOW and ANSYS FLUENT on the example of solving laminar test problems. *Bulletin of the Tomsk State University*. – 2013. – No. 1 (21) P. 84–94.
- 12 Safarov R.R. Thesis for the degree of candidate of technical sciences. Moscow, RKHTU im. D.I. Mendeleeva, 2016. 182 p.
- 13 Guseva E.V. et al. An approach to modeling, scaling and optimizing the operation of bioreactors based on computational fluid dynamics. *Software products and systems*. 2015. No. 4 (112). P. 261–267.
- 14 Safarov R. et al. Application of CFD to model batch and membrane bioreactors. *Proceedings of 21st International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2014 Prague 17th Conference on Process Integration, Modelling and Optimization for Energy Saving and Pollution Reduction*. Prague, Czech Republic, 23 – 27 August 2014.
- 15 Guseva E., Safarov R., Menshutina N. Modeling of hollow-fiber membrane bioreactor by CFD. *Proceeding of 10th European Congress of Chemical Engineering, 3rd European Congress of Applied Bio-technology, 5th European Process Intensification Conference*. Nice, 2015. P. 1225.

## Сведения об авторах

**Андрей И. Ключников** д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kaivanov@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5306-0328>

**Виталий Ю. Овсянников** д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, eows2003@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9388-6303>

**Дина В. Ключникова** к.т.н., доцент, кафедра технологии переработки продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, dina.key@mail.ru

**Артём М. Давыдов** к.т.н., доцент, кафедра ресторанного бизнеса, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, пер. Стремянный, 36, г. Москва, 117997, Россия, davydov.am@rea.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-5308-4752>

## 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 I. Klyuchnikov** Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Machines and Apparatuses of Food Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kaivanov@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5306-0328>

**Vitaly Yu. Ovsyannikov** Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Machines and Apparatuses of Food Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, eows2003@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9388-6303>

**Dina V. Klyuchnikova** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Processing Technology of Animal Products, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dina.key@mail.ru

**Artem M. Davydov** Cand. Sci. (Engin.), assistant, Department of Restaurant Business, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, 117997, Moscow, Russia, davydov.am@rea.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-5308-4752>

## 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 20/06/2022	После редакции 12/07/2022	Принята в печать 22/07/2022
Received 20/06/2022	Accepted in revised 12/07/2022	Accepted 22/07/2022

## Пищевая биотехнология

## Food biotechnology



DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-4-39-48>

Оригинальная статья/Research article

УДК 640

Open Access

Available online at [vestnik-vsuet.ru](http://vestnik-vsuet.ru)Сравнительный анализ хмелевых заквасок  
для цельнозернового хлеба



Анна Е. Ковалева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:a.e.kovaleva@yandex.ru">a.e.kovaleva@yandex.ru</a>	 0000-0001-7807-1755
Эльвира А. Пьяникова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:alia1969@yandex.ru">alia1969@yandex.ru</a>	 0000-0003-4424-7323
Екатерина И. Быковская	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ekaterina.bykovskaya@inbox.ru">ekaterina.bykovskaya@inbox.ru</a>	
Ефим Ю. Сидоров	<sup>1</sup>	<a href="mailto:efim.sidmod@rambler.ru">efim.sidmod@rambler.ru</a>	

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

**Аннотация.** В последнее время во всем мире возрождается традиция выпечки хлеба на закваске. Промышленная революция в корне изменила технологию приготовления хлебобулочных изделий. Информация о вреде быстроразмножающихся дрожжей стремительно распространяется, что заставляет потребителя задуматься о пользе потребляемых продуктов. Технологию хлебопекарной отрасли, в свою очередь, это заставляет возвращаться к истокам и разрабатывать рецептуры для полезного традиционного хлеба согласно международным стандартам. В ходе исследований были разработаны три образца рецептур заквасок для хлеба цельнозернового на основе отваров из хмелевых шишек. Хмелевые шишки способствуют получению оптимальной закваски и успешному размножению в ней дрожжевой флоры. Они помогают активизировать процесс брожения. В них содержится большое количество антиоксидантов, что увеличивает сроки хранения хлеба и позволяет его обогатить. Был проведен сравнительный анализ активности дрожжевых клеток в разрабатываемых хмелевых заквасках с использованием камеры Горяева. Подсчет дрожжевых клеток показал, что в образцах хмелевых заквасок №1 и 2 их количество отличается незначительно и составляет  $6,75 \cdot 10^8$  и  $6,25 \cdot 10^8$  кл/см<sup>3</sup> соответственно. В образце №3 содержание дрожжевых клеток оказалось немного меньше, чем в других. Это свидетельствует о том, что при производстве хлеба с применением данной хмелевой закваски операция брожения будет протекать более длительное время. Анализ технологического процесса приготовления заквасок образцов №2 и №3 показал, что у образца №3 он достаточно трудоемкий и продолжительный по времени. Полученные результаты по разработке образцов хмелевых заквасок свидетельствуют о возможности их применения в технологии цельнозерновых хлебных изделий.

**Ключевые слова:** хмелевые шишки, закваска, технология производства, камера Горяева, дрожжевые клетки.

## Comparative analysis of hop starter cultures for whole grain bread

Anna E. Kovaleva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:a.e.kovaleva@yandex.ru">a.e.kovaleva@yandex.ru</a>	 0000-0001-7807-1755
Elvira A. Pyanikova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:alia1969@yandex.ru">alia1969@yandex.ru</a>	 0000-0003-4424-7323
Katherine I. Bykovskaya	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ekaterina.bykovskaya@inbox.ru">ekaterina.bykovskaya@inbox.ru</a>	
Efim Yu. Sidorov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:efim.sidmod@rambler.ru">efim.sidmod@rambler.ru</a>	

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

**Abstract.** Recently, the tradition of baking sourdough bread has been revived all over the world. The Industrial Revolution has radically changed the technology of making bakery products. Information about the dangers of high-speed yeast is rapidly spreading, which makes the consumer think about the benefits of the products consumed. Technologists of the baking industry, in turn, this forces them to return to their origins and develop recipes for healthy traditional bread according to international standards. During the research, three samples of starter cultures for whole-grain bread based on decoctions from hop cones were developed. Hop cones contribute to obtaining an optimal starter culture and the successful reproduction of yeast flora in it. They help to activate the fermentation process. They contain a large amount of antioxidants, which increases the shelf life of bread and allows it to be enriched. A comparative analysis of the activity of yeast cells in the hop ferments being developed using the Goryaev chamber was carried out. Counting of yeast cells showed that in the samples of hop starter cultures No. 1 and No. 2, their number differs slightly and amounts to  $6.75 \cdot 10^8$  cl/cm<sup>3</sup> and  $6.25 \cdot 10^8$  cl/cm<sup>3</sup>, respectively. In sample No. 3, the content of yeast cells turned out to be slightly less than in the others. This indicates that in the production of bread with the use of this hop starter, the fermentation operation will take a longer time. The analysis of the technological process of preparing starter cultures of samples No. 2 and No. 3 showed that in sample No. 3 it is quite time-consuming and time-consuming. The results obtained on the development of samples of hop starter cultures indicate the possibility of their application in the technology of whole grain bread products.

**Keywords:** rye-wheat bread, iodine, pectin, malic lumpectomy extract, spectrophotometer..

Для цитирования

Ковалева А.Е., Пьяникова Э.А., Быковская Е.И., Сидоров Е.Ю. Сравнительный анализ хмелевых заквасок для цельнозернового хлеба // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 39–48. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-39-48

For citation

Kovaleva A.E., Pyanikova E.A., Bykovskaya E.I., Sidorov E.Yu. Comparative analysis of hop starter cultures for whole grain bread. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 39–48. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-39-48

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



## Введение

Использование процесса закваски является одним из старейших биотехнологических процессов в производстве продуктов питания [1]. Закваска – это древний процесс, первоначально используемый для закваски хлеба, путем ферментации молотых злаков и воды сложной смесью микроорганизмов, включая дрожжи и молочнокислые бактерии. Размножение закваски включает в себя несколько этапов освежения, при этом часть ранее ферментированных злаков и воды используется для инокуляции свежих злаков и воды. После многократного освежения развивается стабильная экосистема дрожжей и бактерий, которые затем можно использовать при производстве изделий из дрожжевого теста [2]. Основная функция закваски заключается в разрыхлении для получения более газообразного теста и, как следствие, более аэрированного хлеба. В последние годы традиционное производство хлеба на закваске пользуется популярностью в связи с постоянно растущим спросом потребителей на более натуральные, вкусные и полезные продукты [3]. Обеспечить качество закваски сложно при длительном времени размножения, поскольку оно сильно зависит от микрофлоры, присутствующей в муке, и температуры в пекарнях, которая может меняться в разные сезоны. Поэтому приготовление закваски с использованием отобранных культур и термообработанной муки для ферментации может обеспечить стабильное разнообразие лактобацилл, определенные свойства закваски и стабильное качество.

Хмель обыкновенный (*Humulus lupulus* L., Cannabaceae) – многолетнее двудомное растение, произрастающее в природе в Евразии и Северной Америке. Растение хмеля выращивают для сбора

плодов, называемых шишками хмеля, использование которых признано безопасными для приема внутрь [4]. Биологические свойства шишек *Humulus*, включая консервирующее, противомикробное, мягкое седативное тесно связано с их химическим составом [5]. Они содержат флавоновые гликозиды и катехины [6]. В состав эфирного масла хмеля входят многочисленные летучие компоненты, такие как монотерпены (мирцен) и сесквитерпены, которые составляют до 57–82% от всего содержания. Из-за широкого спектра биологической активности соединений, содержащихся в хмеле, они являются потенциальными антиоксидантами. Полифенолы обладают защитным действием и могут ингибировать процессы старения организма, поскольку эти соединения проявляют в четыре раза большую антиоксидантную активность, чем витамин С. В настоящее время хмель и его экстракты широко используются в пивоварении, также, в меньших масштабах, они используются в фармацевтической промышленности, пищевых добавках и косметике [7].

Следует отметить, что продолжающиеся исследования хмеля и его ингредиентов создают возможности его использования в хлебопечении и других отраслях пищевой промышленности.

**Цель работы** – разработка рецептур хмелевых заквасок для цельнозернового хлеба.

## Материалы и методы

Ключевым вводимым ингредиентом в закваске для цельнозернового хлеба являются хмелевые шишки. В первую очередь следует рассчитать и рассмотреть рецептурный состав представленных образцов заквасок. Рецептуры заквасок представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Рецептуры заквасок

Table 1.

Starter cultures

Ингредиенты Ingredients	Контрольный образец Control sample	Образец № 1 Sample No1	Образец № 2 Sample No2	Образец № 3 Sample No3
Мука ржаная, г   Rye flour, g	250	–	–	–
Мука пшеничная высшего сорта, г Wheat flour of the highest grade, g	–	75	300	300
Корень солодки, г   Licorice root, g	–	–	–	30
Сахар, г   Sugar, g	–	20	–	–
Вода питьевая, мл   Drinking water, ml	250	450	1100	750
Хмель, г   Hops, g	–	80	15	50
Солод неферментированный, г Unfermented malt, g	–	–	6	–

Хмелевая закваска не является заменителем дрожжей, поскольку действующим веществом хмелевой закваски являются те же дрожжи, так же, как и в ржаной закваске. Кроме

дрожжей закваски содержат комплекс молочнокислых бактерий и некоторые другие микроорганизмы, характерные для нормальной бродильной микрофлоры.

Для изучения активности развития дрожжевых клеток в хмелевых заквасках была использована методика с применением счетной камеры Горяева. Счетная камера Горяева представляет собой толстое предметное стекло, разделенное четырьмя прорезями на три поперечно расположенные площадки. Центральная площадка продольной прорезью делится пополам. На каждой половинке выгравирована микроскопическая сетка. Сетка разделена на большие и малые квадраты: площадь большого квадрата равна  $1/25 \text{ мм}^2$ , малого –  $1/400 \text{ мм}^2$ . Боковые площадки расположены на 0,1 мм выше центральной и служат для притирания покровного стекла.

При работе с камерой необходимо соблюдать определенный порядок ее заполнения. Вначале углубление с сеткой нужно покрыть специальным шлифованным покровным стеклом и, слегка прижимая, сместить покровное стекло в противоположные стороны до появления колец Ньютона. После этого заполнить камеру исследуемой суспензией. Подсчет клеток производится через 3–5 минут после заполнения камеры, чтобы клетки осели и при микроскопировании были видны в одной плоскости.

Камеру следует поместить на предметный столик и рассматривать в затемненном поле зрения с объективами вначале на  $\times 8$ , а затем на  $\times 40$ , а затем подсчитать количество дрожжевых клеток.

Количество клеток в  $1 \text{ см}^3$  исследуемой суспензии вычисляется по формуле

$$M = a \cdot n \cdot 10^3 / S \cdot h,$$

где  $M$  – число клеток в  $1 \text{ см}^3$  дрожжевой суспензии;  $a$  – среднее число клеток в квадрате сетки;  $n$  – разведение дрожжевой суспензии (если оно применялось);  $S$  – площадь квадрата сетки,  $\text{мм}^2$ ;  $h$  – глубина камеры [8].

Следует определить по данной формуле число клеток в  $1 \text{ см}^3$  дрожжевой суспензии разработанных заквасок. Данные исследования позволяют определить наиболее активную закваску, влияющую на бродильную способность теста и непосредственно технологический процесс производства хлеба.

### Результаты и обсуждение

Для производства образцов хмелевых заквасок было использовано следующее сырье: мука пшеничная высшего сорта, мука ржаная, сахар-песок, вода питьевая, хмелевые шишки, солод неферментированный и корневище солодки.

Технология приготовления ржаной закваски (контрольный образец): в качестве основных компонентов в ржаной закваске для контрольного образца хлеба была использована ржаная мука. Муку и воду в равных пропорциях перемешивали, смесь накрывали и ставили на 48 часов в теплое место температурой около  $27\text{--}30^\circ\text{C}$ .

Спустя 48 часов закваску проверяли на наличие в ней бродильного процесса. В процессе брожения закваска увеличивалась в объеме в 2–2,5 раза и по всей поверхности появлялись пузырьки. От готовой исходной закваски отбирали  $2/3$  или  $3/4$  ее объема, а к оставшейся  $1/3$  или  $1/4$  добавляли такое количество муки и воды, чтобы восстановить прежний объем. Готовность закваски определяли по конечной кислотности и подъемной силе.

После каждого освежения, которое рекомендуется делать каждый день в определенное время на протяжении трех дней, закваска становилась более кислой благодаря увеличению количества бактерий, вызывающих закисание теста. Смешивая муку и воду и поддерживая определенную температуру, создаются благоприятные условия для размножения бактерий.

В качестве основного компонента для разрабатываемых образцов заквасок использовались шишки хмеля.

Шишки хмеля содержат эфирное масло (до 1,8%), полифенольные соединения (2–5%) и от 5 до 26% горечей (смолистых веществ). Среди смолистых веществ выделены: лупулин, гумуленовая кислота, гумулон, лупулон и др. Также хмель содержит флавоноиды (до 0,85%), воски, кумарины, дубильные вещества, ароматические соединения, витамины группы В, холин, эстрогеноподобные вещества, алкалоидоподобное вещество (гумулин).

Достоинствами шишек хмеля, которые являются основой закваски, являются желчегонное, снотворное, успокаивающее, противовоспалительное, отхаркивающее, спазмолитическое действия, а также повышение аппетита [9].

Хлебобулочные изделия на закваске превращаются в легкодоступный и полезный для организма пробиотик. Закваски способствуют мягкому и постепенному всасыванию глюкозы и снижают скорость усвоения крахмала, содержащего в пшеничной муке высшего сорта, и резкое повышение сахара в крови не происходит. В процессе ферментации огромное количество витаминов группы В, А, Е, Н и РР, и все, практически необходимые человеку минеральные вещества, формируются с высокой скоростью [10–20]. Активному наращиванию дрожжевой микрофлоры способствует не только состав, но и приемы введения хмелевой закваски для хлеба.

Достоинства хмелевого хлеба:

- более устойчив к картофельной болезни;
- содержит меньше посторонних (не участвующих в брожении) микроорганизмов;
- имеет хороший вкус и приятный аромат;
- лучше хранится;

– содержит некоторое количество лекарственных компонентов, которые присутствуют в отваре хмеля.

Технология приготовления хмелевой закваски (образец № 1) осуществляется в два этапа. На первом этапе сухие шишки хмеля заливают холодной водой, доводят до кипения, кипятят 30 минут и настаивают в течение 24 ч. На втором этапе снова доводят до кипения, кипятят 10 минут и процеживают полученный раствор. Вытяжкой хмеля с температурой 95 °С заваривают пшеничную муку, после чего, охладив до температуры 60–65 °С, добавляют сахар и тщательно перемешивают. Полученная смесь бродит 40 ч при температуре 30–35 °С. По истечению данного времени смесь должна покрыться множеством мелких пузырьков и увеличиться в объеме в 2–3 раза. Полученную закваску перемешивают и перемещают в плотно закрытую емкость.

Технология приготовления хмелевой закваски с добавлением солода неферментированного (образец № 2) предусматривает приготовление водного отвара хмеля и его смешивание с мукой и заваркой из пшеничной муки с добавлением 2%-го неферментированного солода. Для приготовления хмелевой заварки 15 г. сухих шишек хмеля смешивают с 500 мл воды и кипятят на водяной бане в течение 15–20 минут с последующим настаиванием смеси не менее 10 ч, после этого смесь процеживают. В полученный водный отвар хмеля вносят муку пшеничную для образования смеси густоты сметаны, смесь выдерживают в тепле в течение 1,5–2 суток, оставляют до появления на поверхности мелких пузырьков, при этом смесь в процессе брожения периодически перемешивают для обогащения ее кислородом.

Во время брожения смеси готовят заварку из пшеничной муки с добавлением 2%-го неферментированного солода: пшеничную муку соединяют с кипящей водой в соотношении 1:3, остужают до 65 °С и соединяют с 2 г неферментированного солода. Оставляют при 65 °С на осахаривание на 3–4 часа. Затем соединяют подготовленную хмелевую заварку с заваркой из пшеничной муки с добавлением солода. Полученную смесь перемешивают и оставляют в состоянии покоя на протяжении 14–16 часов при 32–33 °С. За это время происходит активация микроорганизмов и их накопление.

Для хмелевой закваски готовят новую заварку с 4%-ым неферментированным солодом: пшеничную муку соединяют с кипящей водой в соотношении 1:3, остужают до 65 °С и соединяют с 4 г неферментированного солода. Оставляют при температуре 65 °С на осахаривание на 3–4 часа.

Затем осахаренную заварку соединяют с 4%-м неферментированным солодом со смесью

заварки из шишек хмеля и 2%-м неферментированным солодом.

Образовавшуюся смесь выдерживают в закрытой емкости на протяжении 6–9 часов при 32 °С до получения хмелевой закваски. Через 2–3 дня (время зависит от температуры в помещении, рекомендуемая температура – 27–30 °С) на поверхности закваски происходит образование пузырьков и увеличение закваски в объеме в 2,5–3 раза. Полученную закваску тщательно перемешивают и переносят в плотно закрывающуюся емкость для хранения.

Технология приготовления хмелевой закваски на отваре корня солодки (образец № 3) начинается с приготовления отвара из корневища солодки измельченного. Для этого 30 г. корней солодки помещают в эмалированную емкость, заливают 200 мл охлажденной кипяченой воды, закрывают крышкой и нагревают на кипящей водяной бане в течение 30 минут, охлаждают при комнатной температуре 10 минут, процеживают, оставшееся сырье отжимают. Доводят объем полученного отвара до первоначального (200 мл) необходимым количеством кипяченой воды.

50 г. сухих шишек хмеля заливают водой и кипятят на водяной бане в течение 15–20 минут. Отвар процеживают и остужают до температуры 35–40 °С. Соединяют отвары корня солодки, шишек хмеля и муку пшеничную и тщательно перемешивают до получения консистенции густой сметаны. Оставляют полученную смесь в закрытом состоянии в теплом месте на 36–48 часов. По истечении этого времени закваска увеличивается в объеме в 2–3 раза, ее поверхность покрывается слоем маленьких пузырьков. Полученная закваска перемешивается и закладывается на хранение для дальнейшего использования.

С использованием камеры Горяева было изучено влияние хмелевых шишек на рост дрожжевых клеток. Результаты подсчета дрожжевых клеток в разработанных заквасках представлены в таблице 2.

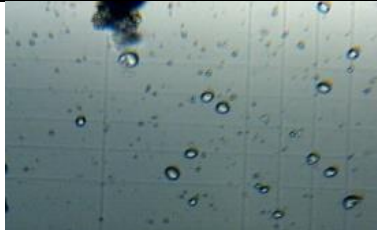

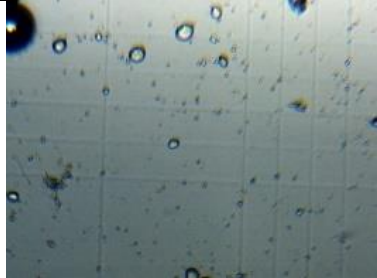
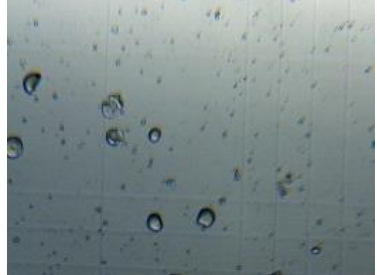
В ходе проведенного исследования было выявлено, что в суспензии ржаной закваски, являющейся контрольным образцом, находится  $5,0 \cdot 10^8$  кл/см<sup>3</sup>. В разрабатываемых рецептурах заквасок число клеток в дрожжевой суспензии составило: для хмелевой закваски –  $6,75 \cdot 10^8$  кл/см<sup>3</sup>, для хмелевой закваски с солодом –  $6,25 \cdot 10^8$  кл/см<sup>3</sup>, для хмелевой закваски с корнем солодки –  $4,75 \cdot 10^8$  кл/см<sup>3</sup>. В ходе проведенного исследования, можно сделать вывод, что в растворе хмелевой закваски количество дрожжевых клеток превышает количество клеток в остальных растворах заквасок –  $6,75 \cdot 10^8$  кл/см<sup>3</sup>. Это означает, что данная закваска наиболее активная в действии, а, следовательно, тесто с ее добавлением будет быстрее созревать.

Таблица 2.

Результаты подсчета дрожжевых клеток в заквасках

Table 2.

Results of counting yeast cells in starter cultures

Закваски Starter cultures	Внешний вид Appearance	Среднее число клеток в квадрате сетки The average number of cells in the grid square	Число клеток в 1 см <sup>3</sup> дрожжевой суспензии Number of cells in 1 cm <sup>3</sup> yeast suspension
Контроль (Ржаная) Control (Rye)		20	$5,0 \cdot 10^8$
Образец № 1 (Хмелевая) Sample No1 (Hop)		27	$6,75 \cdot 10^8$
Образец № 2 (Хмелевая с добавлением солода неферментированного) Sample No2 Hop with the addition of unfermented malt		25	$6,25 \cdot 10^8$
Образец № 3 (Хмелевая с добавлением корня солодки) Sample No3 Hop with the addition of licorice root		19	$4,75 \cdot 10^8$

### Закключение

В ходе проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

- полученные образцы хмелевых заквасок можно использовать для приготовления цельнозерновых хлебных изделий;
- с учетом подсчета дрожжевых клеток видно, что значение их у образцов № 1 и № 2 отличаются незначительно;

– количество дрожжевых клеток у образца № 3 меньше, чем у контрольного образца, а, следовательно процесс брожения теста будет протекать более длительное время;

– при анализе технологического процесса приготовления заквасок образцов № 2 и № 3 выявлено, что у образца № 2 он достаточно трудоемкий и продолжительный по времени.

### Литература

- 1 Hadaegh H., Seyyedain Ardabili S.M., Tajabadi Ebrahimi M. et al. The impact of different lactic acid bacteria sourdoughs on the quality characteristics of toast bread // Journal of Food Quality. 2017. P. 1–11.
- 2 Warburton A., Silcock P., Eyres G.T. Impact of sourdough culture on the volatile compounds in wholemeal sourdough bread // Food Research International. 2022. V.161. P. 111885. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111885
- 3 Пелевина А.И., Хатанов К.Ю. Хлеб на хмелевой закваске // Молодежь и наука. 2018. №. 2. С. 109-109.

- 4 Kramer B., Thielmann J., Hickisch A. et al. Antimicrobial activity of hop extracts against foodborne pathogens for meat applications // *J. Appl. Microbiol.* 2015. V. 118. P. 648–657.
- 5 Karabin M., Hudcova T., Jelinek L., Dostalek P. Biologically active compounds from hops and prospects for their use // *Comp. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2016. V. 15. P. 542–567.
- 6 Olšovská J., Bošťíková V., Dušek M., Jandovská V. et al. *Humulus lupulus* L. (hops) – a valuable source of compounds with bioactive effects for future therapies // *Mil. Med. Sci. Lett.* 2016. V. 85. P. 19–30. doi: 10.31482/mmsl.2016.004.
- 7 Almaguer C., Schönberger C., Gastl M., Arendt E.K. et al. Review article: *humulus lupulus* – a story that begs to be told // *J. Inst. Brew.* 2014. V. 120. P. 289–314.
- 8 Пьяникова Э.А., Ковалева А.Е., Рязанцева А.С. Исследование влияния яблочных выжимок на активность хлебопекарных дрожжей // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания.* 2020. № 2. С. 65–71. doi: 10.24411/2311-6447-2020-10044
- 9 Савкина О.А., Кузнецова Л.И., Парахина О.И. и др. Исследование влияния хмелевого отвара на жизнедеятельность молочнокислых бактерий и дрожжей, биотехнологические показатели заквасок и качество хлебобулочных изделий // *Хлебопродукты.* 2020. № 9. С. 55–59. doi: 10.32462/0235-2508-2020-29-9-55-59
- 10 Худакова Л.В., Ротанова А.Н. Исследование рецептур хлебобулочных изделий с заквасками из цельнозерновой и пшеничной муки // ГАПОУ «Набережночелнинский технологический техникум». URL: <https://multiurok.ru/files/nauchnaia-statia-na-temu-issledovanie-retseptur-kh.html?ysclid=I9qpw72zf1832992357>
- 11 Попова Д.Е., Дышлюк Л.С. Производство и анализ бездрожжевого хлеба // *Пищевые инновации и биотехнологии.* 2021. С. 101–103.
- 12 Темираев Р.Б., Сатцаева И.К., Витюк Л.А., Кулова И.М. Качество и безопасность пшеничного хлеба, приготовленного на основе хмелевой закваски // *Известия Горского государственного аграрного университета.* 2012. Т. 49. №. 4. С. 399–402.
- 13 Nionelli L., Pontonio E., Gobetti M., Rizzello C.G. Use of hop extract as antifungal ingredient for bread making and selection of autochthonous resistant starters for sourdough fermentation // *International journal of food microbiology.* 2018. V. 266. P. 173–182. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.12.002
- 14 Irakli M., Mygdalia A., Chatzopoulou P., Katsantonis D. Impact of the combination of sourdough fermentation and hop extract addition on baking properties, antioxidant capacity and phenolics bioaccessibility of rice bran-enhanced bread // *Food chemistry.* 2019. V. 285. P. 231–239. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.145
- 15 Palomba S., Cavella S., Torrieri E., Piccolo A. et al. Polyphasic screening, homopolysaccharide composition, and viscoelastic behavior of wheat sourdough from a *Leuconostoc lactis* and *Lactobacillus curvatus* exopolysaccharide-producing starter culture // *Applied and environmental microbiology.* 2012. V. 78. №. 8. P. 2737–2747. doi: 10.1128/AEM.07302-11
- 16 Milanović V., Osimani A., Garofalo C., Belleggia L. et al. Selection of cereal-sourced lactic acid bacteria as candidate starters for the baking industry // *PLoS One.* 2020. V. 15. №. 7. P. e0236190. doi: 10.1371/journal.pone.0236190
- 17 Bockwoldt J.A., Fellermeier J., Steffens E., Vogel R.F. et al.  $\beta$ -Glucan production by *Levilactobacillus brevis* and *Pediococcus claussenii* for in situ enriched rye and wheat sourdough breads // *Foods.* 2021. V. 10. №. 3. P. 547. doi: 10.3390/foods10030547
- 18 Wang Y., Zhao J., Xu F., Wu X. et al. GC-MS, GC-O and OAV analyses of key aroma compounds in Jiaozi Steamed Bread // *Grain & Oil Science and Technology.* 2020. V. 3. №. 1. P. 9–17. doi: 10.1016/j.gaost.2019.11.003
- 19 Galle S., Schwab C., Dal Bello F., Coffey A. et al. Influence of in-situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten-free sorghum sourdough bread // *International journal of food microbiology.* 2012. V. 155. №. 3. P. 105–112. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2012.01.009
- 20 Galle S., Arendt E.K. Exopolysaccharides from sourdough lactic acid bacteria // *Critical reviews in food science and nutrition.* 2014. V. 54. №. 7. P. 891–901. doi: 10.1080/10408398.2011.617474

## References

- 1 Hadaegh H., Seyyedain Ardabili S.M., Tajabadi Ebrahimi M. et al. The impact of different lactic acid bacteria sourdoughs on the quality characteristics of toast bread. *Journal of Food Quality.* 2017. pp. 1–11.
- 2 Warburton A., Silcock P., Eyres G.T. Impact of sourdough culture on the volatile compounds in wholemeal sourdough bread. *Food Research International.* 2022. vol.161. pp. 111885. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111885
- 3 Pelevina A.I., Khatanov K.Yu. Bread with hop sourdough. *Youth and science.* 2018. no. 2. pp. 109–109. (in Russian).
- 4 Kramer B., Thielmann J., Hickisch A. et al. Antimicrobial activity of hop extracts against foodborne pathogens for meat applications. *J. Appl. Microbiol.* 2015. vol. 118. pp. 648–657.
- 5 Karabin M., Hudcova T., Jelinek L., Dostalek P. Biologically active compounds from hops and prospects for their use. *Comp. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2016. vol. 15. pp. 542–567.
- 6 Olšovská J., Bošťíková V., Dušek M., Jandovská V. et al. *Humulus lupulus* L. (hops) – a valuable source of compounds with bioactive effects for future therapies. *Mil. Med. Sci. Lett.* 2016. vol. 85. pp. 19–30. doi: 10.31482/mmsl.2016.004.
- 7 Almaguer C., Schönberger C., Gastl M., Arendt E.K. et al. Review article: *humulus lupulus* – a story that begs to be told. *J. Inst. Brew.* 2014. vol. 120. pp. 289–314.
- 8 Pyannikova E.A., Kovaleva A.E., Ryazantseva A.S. Study of the influence of apple pomace on the activity of baker's yeast. 2020. no. 2. pp. 65–71. doi: 10.24411/2311-6447-2020-10044 (in Russian).
- 9 Savkina O.A., Kuznetsova L.I., Parakhina O.I. Study of the effect of hop broth on the vital activity of lactic acid bacteria and yeasts, biotechnological indicators of starter cultures and the quality of bakery products. *Khleboпродукты.* 2020. no. 9. pp. 55–59. doi: 10.32462/0235-2508-2020-29-9-55-59 (in Russian).

10 Khudakova L.V., Rotanova A.N. Study of recipes for bakery products with starter cultures from whole grain and wheat flour. Naberezhnochelninsky Technological College. Available at: <https://multiurok.ru/files/nauchnaia-statia-na-temu-issledovanie-retseptur-kh.html?ysclid=I9qpw72zf1832992357> (in Russian).

11 Popova D.E., Dyshlyuk L.S. Production and analysis of yeast-free bread. Food innovations and biotechnologies. 2021. pp. 101-103. (in Russian).

12 Temiraev R.B., Satsaeva I.K., Vityuk L.A., Kulova I.M. Quality and safety of wheat bread prepared on the basis of hop sourdough. Bulletin of the Gorsky State Agrarian University. 2012. vol. 49. no. 4. pp. 399-402. (in Russian).

13 Nionelli L., Pontonio E., Gobetti M., Rizzello C.G. Use of hop extract as antifungal ingredient for bread making and selection of autochthonous resistant starters for sourdough fermentation. International journal of food microbiology. 2018. vol. 266. pp. 173-182. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.12.002

14 Irakli M., Mygdalia A., Chatzopoulou P., Katsantonis D. Impact of the combination of sourdough fermentation and hop extract addition on baking properties, antioxidant capacity and phenolics bioaccessibility of rice bran-enhanced bread. Food chemistry. 2019. vol. 285. pp. 231-239. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.145

15 Palomba S., Cavella S., Torrieri E., Piccolo A. et al. Polyphasic screening, homopolysaccharide composition, and viscoelastic behavior of wheat sourdough from a *Leuconostoc lactis* and *Lactobacillus curvatus* exopolysaccharide-producing starter culture. Applied and environmental microbiology. 2012. vol. 78. no. 8. pp. 2737-2747. doi: 10.1128/AEM.07302-11

16 Milanović V., Osimani A., Garofalo C., Belleggia L. et al. Selection of cereal-sourced lactic acid bacteria as candidate starters for the baking industry. PLoS One. 2020. vol. 15. no. 7. pp. e0236190. doi: 10.1371/journal.pone.0236190

17 Bockwoldt J.A., Fellermeier J., Steffens E., Vogel R.F. et al.  $\beta$ -Glucan production by *Levilactobacillus brevis* and *Pediococcus claussenii* for in situ enriched rye and wheat sourdough breads. Foods. 2021. vol. 10. no. 3. pp. 547. doi: 10.3390/foods10030547


18 Wang Y., Zhao J., Xu F., Wu X. et al. GC-MS, GC-O and OAV analyses of key aroma compounds in Jiaozi Steamed Bread. Grain & Oil Science and Technology. 2020. vol. 3. no. 1. pp. 9-17. doi: 10.1016/j.gaost.2019.11.003

19 Galle S., Schwab C., Dal Bello F., Coffey A. et al. Influence of in-situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten-free sorghum sourdough bread. International journal of food microbiology. 2012. vol. 155. no. 3. pp. 105-112. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2012.01.009


20 Galle S., Arendt E.K. Exopolysaccharides from sourdough lactic acid bacteria. Critical reviews in food science and nutrition. 2014. vol. 54. no. 7. pp. 891-901. doi: 10.1080/10408398.2011.617474

#### 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@yandex.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@yandex.ru


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

**Екатерина И. Быковская** магистр, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, ekaterina.bykovskaya@inbox.ru


**Ефим Ю. Сидоров** студент, кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров, Юго-Западный государственный университет, ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Россия, efim.sidmod@rambler.ru

#### 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@yandex.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@yandex.ru

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

**Katherine I. Bykovskaya** master, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, ekaterina.bykovskaya@inbox.ru

**Efim Yu. Sidorov** student, commodity science, technology and examination of goods department, South-West State University, 50 years of October Av., 94, Kursk, 305040, Russia, efim.sidmod@rambler.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 14/10/2020	После редакции 02/11/2020	Принята в печать 25/11/2020
Received 14/10/2020	Accepted in revised 02/11/2020	Accepted 25/11/2020



## Эффективность использования пробиотического комплекса Субтилис-С в отрасли промышленного кролиководства

Анна А. Дерканосова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:aa-derk@ya.ru">aa-derk@ya.ru</a>	 0000-0002-9726-9262
Елена Е. Курчаева	<sup>2</sup>	<a href="mailto:alena.kurchaeva@ya.ru">alena.kurchaeva@ya.ru</a>	 0000-0001-5958-0909
Лариса И. Лыткина	<sup>1</sup>	<a href="mailto:larissaig2410@rambler.ru">larissaig2410@rambler.ru</a>	 0000-0001-7857-7756
Игорь В. Максимов	<sup>2</sup>	<a href="mailto:maximus880@mail.ru">maximus880@mail.ru</a>	 0000-0001-9713-0159
Дмитрий А. Попов	<sup>2</sup>	<a href="mailto:demon-donbass@ya.ru">demon-donbass@ya.ru</a>	
Андрей Н. Звягин	<sup>3</sup>	<a href="mailto:andzvyagin@gmail.com">andzvyagin@gmail.com</a>	

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





2 Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

3 ООО «Липецкий кролик» ул. Ленина, д. 157, Липецкая обл., Хлевенский район, с. Конь-Колодезь, 393250

**Аннотация.** Для успешного развития отрасли животноводства, в том числе кролиководства необходимо раскрытие генетического потенциала объектов разведения посредством балансирования кормовых рационов и включением в их состав биодобавок, способствующих поддержанию их гомеостаза и снижающих негативное воздействие различных стрессовых и кормовых факторов на организм сельскохозяйственных животных. В настоящее время имеется целый ряд кормовых компонентов, которые стимулируют продуктивность и рост животных, птицы, зверей. Одними из них являются пробиотические препараты, положительно влияющие на усиление иммунитета, укрепление здоровья и увеличение продуктивности различных видов сельскохозяйственных животных. Целью работы является обоснование эффективности использования для кроликов пробиотического препарата «Субтилис-С» в составе полнорационного гранулированного комбикорма для молодняка кроликов для повышения их мясной продуктивности. Для изучения влияния пробиотического препарата «Субтилис-С» было отобрано 45 кроликов в возрасте 30 дней. Кроликов контрольной группы кормили по схеме, принятой в хозяйстве полнорационным гранулированным комбикормом рецепта ПЗК-92 ГРН, опытные группы кроликов получали кормовые рационы на основе комбикорма ПЗК-92 (получен на основе зерновых культур, жмыха подсолнечника, пшеничных отрубей, травяной муки из люцерны и премикса КВП П90-1К), в состав которого вводили пробиотическую добавку «Субтилис-С» ( $2 \cdot 10^9$ ) в дозировке 0,6 и 1,0 г/кг комбикорма и гидролизат овса в дозировке 2% в качестве связующего компонента взамен мелассы. Доказано, что использование пробиотического препарата «Субтилис-С» в дозировке 1,0 г/кг к массе комбикорма повышает среднесуточные приросты и, как следствие, мясную продуктивность и содержание белка в мышечной ткани тушек кроликов.

**Ключевые слова:** пробиотический препарат, интенсивность роста, сохранность поголовья, мясная продуктивность, убойный выход.

## The effectiveness of the use of the probiotic complex Subtilis-C in the field of industrial rabbit breeding

Anna A. Derkanosova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:aa-derk@ya.ru">aa-derk@ya.ru</a>	 0000-0002-9726-9262
Elena E. Kurchaeva	<sup>2</sup>	<a href="mailto:alena.kurchaeva@ya.ru">alena.kurchaeva@ya.ru</a>	 0000-0001-5958-0909
Larisa I. Lytkina	<sup>1</sup>	<a href="mailto:larissaig2410@rambler.ru">larissaig2410@rambler.ru</a>	 0000-0001-7857-7756
Igor V. Maksimov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:maximus880@mail.ru">maximus880@mail.ru</a>	 0000-0001-9713-0159
Dmitry A. Popov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:demon-donbass@ya.ru">demon-donbass@ya.ru</a>	
Andrey N. Zvyagin	<sup>3</sup>	<a href="mailto:andzvyagin@gmail.com">andzvyagin@gmail.com</a>	

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

2 Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia

3 Lipetsk Rabbit Ltd. Lenina, 157, Khlevensky District, Lipetsk Region, Kon-Kolodez, 393250

**Abstract.** For the successful development of the livestock industry, including rabbit breeding, it is necessary to reveal the genetic potential of breeding facilities by balancing feed rations and including dietary supplements in their composition that help maintain their homeostasis and reduce the negative impact of various stress and feed factors on the body of farm animals. Currently, there are a number of feed components that stimulate the productivity and growth of animals, birds, and animals. One of them are probiotic drugs that have a positive effect on strengthening immunity, strengthening health and increasing productivity of various types of farm animals. The aim of the work is to substantiate the effectiveness of the use of the probiotic drug Subtilis - C as part of a full-fledged granular compound feed for young rabbits to increase their meat productivity. To study the effect of the probiotic drug Subtilis - C, 45 rabbits aged 30 days were selected. Rabbits of the control group were fed according to the scheme adopted by the farm with a full-grain granular feed PZK-92 UAH, experimental groups of rabbits received feed rations based on the feed PZK-92 (obtained on the basis of cereals, sunflower cake, wheat bran, herbal flour from alfalfa and premix KVP P90-1K), which included probiotic the additive "Subtilis-S" ( $2 \cdot 10^9$ ) in a dosage of 0.6 and 1.0 g / kg of compound feed and hydrolysate of oats in a dosage of 2% as a binder instead of molasses. It is proved that the use of the probiotic drug "Subtilis-S" in a dosage of 1.0 g / kg by weight of compound feed increases the average daily gains and, as a consequence, meat productivity and protein content in the muscle tissue of rabbit carcasses.)

**Keywords:** probiotic, growth rate, livestock safety, meat productivity, slaughter yield.

Для цитирования

Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Лыткина Л.И., Максимов И.В., Попов Д.О., Звягин Р.Н. Эффективность использования пробиотического комплекса Субтилис-С в отрасли промышленного кролиководства // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 46–52. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-46-52

For citation

Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Lytkina L.I., Maksimov I.V., Popov D.O., Zvyagin R.N. The effectiveness of the use of the probiotic complex Subtilis-C in the field of industrial rabbit breeding. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 46–52. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-46-52

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

## Введение

Для успешного развития отрасли животноводства, в том числе кролиководства необходимо раскрытие генетического потенциала объектов разведения посредством балансирования кормовых рационов и включением в их состав биодобавок, способствующих поддержанию их гомеостаза и снижающих негативное воздействие различных стрессовых и кормовых факторов на организм сельскохозяйственных животных [1, 11–15]. Получение безопасной продукции требует от производителей отказа от применения кормовых антибиотиков, которые способны накапливаться в организме животных. Но, в условиях промышленного получения сельскохозяйственной продукции, исключение антибиотиков может привести к массовым заболеваниям животных. В связи с чем, актуальным является поиск препаратов альтернативных кормовым антибиотикам, которые способны поддерживать устойчивость к заболеваниям объектов разведения [17, 18–20]. К категории таких добавок могут быть отнесены пробиотические добавки, способствующие интенсивности роста животных, продуктивности и снижению затрат кормов на единицу продукции [4, 6–10].

Внедрение в отрасли кролиководства интенсивных технологий выращивания, а также увеличение поголовья привело к значительному усилению техногенной и микробиологической нагрузки на организм кроликов, что в свою очередь, вызывает нарушение процессов пищеварения, обмена веществ, снижение продуктивности и возникновение кишечных инфекций [5].

В современных условиях уменьшения объемов сельскохозяйственного производства, недостатка кормов, их дороговизны, неудовлетворительного ветеринарно-санитарного состояния животноводческих помещений снижается сопротивляемость животных к различным заболеваниям. В результате развиваются дисбактериозы и иммунодефицитные состояния, растет процент заболеваемости, снижается продуктивность, повышается падеж [2–4, 16].

Решением данной проблемы могут стать инновационные разработки по использованию в кормовых рационах пробиотических комплексов, способствующих улучшению биодоступности питательных веществ комбикормов и повышающих сохранность поголовья без применения в лечебно – профилактических целях антибиотиков.

**Цель работы** – обоснование эффективности использования пробиотического препарата «Субтилис –С» в составе полнорационного гранулированного комбикорма для молодняка кроликов целью повышения их мясной продуктивности.

## Материалы и методы

Объектами исследований являлись кролики гибридной формы НУКОЛЕ (ООО «Липецкий кролик») в возрасте 30 суток, разделенные на контрольную и опытные группы по 15 голов. Научно-хозяйственные опыты были проведены по общепринятым методикам (А.И. Овсянников, 1976) методом сбалансированных групп-аналогов в 2021–2022 гг. Опытные группы формировали из клинически здоровых животных. Содержание и кормление кроликов соответствовали зоогигиеническим и зоотехническим нормам.

Кроликов контрольной группы кормили по схеме, принятой в хозяйстве, полнорационным гранулированным комбикормом рецепта ПЗК-92 ГРН, опытные группы кроликов получали кормовые рационы на основе комбикорма ПЗК-92 (полученного на основе зерновых культур, жмыха подсолнечника, пшеничных отрубей, травяной муки из люцерны и премикса КВП П90–1К), в состав которого вводили пробиотическую добавку «Субтилис-С» ( $2 \times 10^9$ ) в дозировке 0,6 и 1,0 г/ кг комбикорма и гидролизат овса в дозировке 2% в качестве связующего компонента взамен мелассы. Оптимизацию рационов проводили с помощью программы «Корм Оптима» (ООО «КормоРесурс», Воронеж). Химический анализ кормов, гематологические показатели крови проводили стандартными методиками в условиях лаборатории ГНУ «Всероссийский научно – исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии РАСХН», г. Воронеж.

«Субтилис-С» – пробиотик нового поколения. Бактерии *B. Subtilis* и *B. licheniformis* образуют в желудочно-кишечном тракте быстро растущие колонии и вытесняют из него патогенные и условно-патогенные микроорганизмы *Salmonella*, *Shigella*, энтеропатогенные *E. coli*, *Proteus*, *Staphylococcus*, *Candida*, стимулируя при этом рост полезной микрофлоры хозяина. Продуцируются биологически активные вещества, происходит синтез протеаз, липаз, амилаз и других пищеварительных ферментов, активируются специфические и неспецифические системы защиты организма, нормализуется пищеварение, улучшается усвояемость кормов, повышается иммунный статус и устойчивость организма к заболеваниям инфекционной, микозной, инвазионной и алиментарной этиологий. Сохраняется жизнеспособность при высоких температурах и давлении в установках по экспандированию и экструдированию, гранулированию кормов, сочетается со всеми видами прививок и усиливает их эффективность. Любая дозировка абсолютно безвредна, не вызывает привыкания. Не содержит генетически модифицированные штаммы микроорганизмов. Не содержит



в своем составе и позволяет отказаться от применения антибиотиков, гормонов, стимуляторов роста. Лекарственный препарат «Субтилис-С» содержит споры природных штаммов микроорганизмов *Bacillus Subtilis* и *Bacillus Licheniformis* не менее  $2 \times 10^9$  КОЕ в 1 г и наполнитель лактозу.

Пробиотический препарат «Субтилис-С» представляет собой порошок бежевого цвета, растворимый в воде, технологичен в применении. Штаммы бактерий, входящие в состав препарата, устойчивы к высоким и низким температурам, не теряют своей жизнеспособности при гранулировании кормов.

Динамику изменения живой массы учитывали индивидуальным взвешиванием. Для определения мясной продуктивности провели убой по 3 головы кроликов из каждой группы по методике ВИЖ. Мясную продуктивность кроликов возраста 105 сут определяли путем взвешивания тушек на весах после проведения контрольного убоя и разделке тушек. Оценку химического состава и биологической ценности мяса кроликов

проводили в соответствии с рекомендациями (Антипова Л.В., 2004).

### Результаты

Пробиотические препараты находят широкое применение в животноводстве, в том числе и как компоненты полнорационных гранулированных комбикормов, что позволяет более точно прогнозировать эффект от их использования в кормовых рационах кроликов. В работе был использован пробиотический препарат «Субтилис-С», который представляет собой комплекс лиофилизированных микроорганизмов рода *Bacillus subtilis* и *Bacillus licheniformis* (не менее  $2 \cdot 10^9$  КОЕ/г, в качестве наполнителя лактоза).

В условиях промышленного комплекса ООО «Липецкий кролик» была проведена оценка эффективности полнорационных гранулированных комбикормов, обогащенных пробиотическим препаратом в кормовых рационах молодняка кроликов.

Таблица 1.

Интенсивность роста молодняка кроликов

Table 1.

Intensity of growth of young rabbits

Возраст, суток   Age, days	Группа   Group		
	Контроль   Control	Опыт 1   Experiment 1	Опыт 2   Experiment 2
30	906,0 ± 8,24	905,0 ± 9,98	908,0 ± 7,66
45	1426,0 ± 20,74	1495,0 ± 25,85	1622,0 ± 28,92
60	1680,0 ± 14,92	2035,0 ± 24,87	2249,0 ± 28,33
75	2010,0 ± 15,09	2519,0 ± 24,43	2627,0 ± 27,20
90	2343,0 ± 33,55	2656,0 ± 29,08	2831,0 ± 38,04
105	2679,0 ± 25,05	3061,0 ± 36,61	3309,0 ± 38,36
Среднесуточный прирост, г Average daily increase, g	23,64	28,74	32,01
Сохранность, %   Safety, %	86,67	100,00	100,00

Таблица 2.

Результаты контрольного убоя и морфологический состав тушек кроликов

Table 2.

Results of control slaughter and morphological composition of rabbit carcasses

Показатель   Indicator	Группа   Group		
	Контроль   Control	Опыт 1   Experiment 1	Опыт 2   Experiment 2
Предубойная живая масса, г   Preslaughter live weight, g	2636,0 ± 25,54	2886,0 ± 22,73	3238,0 ± 36,78
Убойная масса, г   Slaughter weight, g	1321,0 ± 13,10	1485,0 ± 17,16	1787,0 ± 29,04
Масса парной тушки, г   Weight of the paired carcass, g	1216,0 ± 17,75	1385,0 ± 22,07	1690,0 ± 21,38
Убойный выход, %   Slaughter output, %	48,0 ± 1,91	51,44 ± 0,90	54,87 ± 1,12
Масса жира – сырья, г   Mass of raw fat, g	104,0 ± 6,17	100,0 ± 4,95	97,0 ± 8,69
Масса мякоти, г   Pulp weight, g	853,0 ± 22,11	1033,0 ± 33,29	1285,0 ± 32,78
Масса кости, г   Bone mass, g	257,0 ± 2,12	258,0 ± 2,12	259,0 ± 2,67
Индекс мясности   Meat index	3,32 ± 0,07	4,00 ± 0,10	4,95 ± 0,17

Таблица 3.

Химический состав мяса кроликов

Table 3.

Chemical composition of rabbit meat

Массовая доля, % Mass fraction, %	Группа   Group		
	Контроль   Control	Опыт 1   Experiment 1	Опыт 2   Experiment 2
Влага   Moisture	73,22 ± 0,03	72,04 ± 0,41	71,23 ± 0,49
Белок   Protein	19,45 ± 0,08	20,89 ± 0,42	22,21 ± 0,57
Жир   Fat	6,25 ± 0,05	5,96 ± 0,04	5,49 ± 0,07
Зола   Ash	1,07 ± 0,02	1,11 ± 0,02	1,06 ± 0,03

### Обсуждение

Характер и уровень кормления поголовья молодняка кроликов отражает динамика живой массы. Исследованиями установлено, что по достижении убойного возраста (105 суток) кролики контрольной группы характеризовались более низкой живой массой, в то время как в опытных группах данный показатель имел положительное увеличение (таблица 1): во второй группе на 382 г. или 14,26% и в третьей группе на 630 г. или 23,51%.

Сохранность кроликов, в опытных группах составила 86,67 и 100%, в контрольной – 80%, что связано с усилением общей резистентности организма, а соединения пробиотической природы, возможно, способствовали нормализации процессов пищеварения и как следствие улучшению конверсии комбикорма. Были определены клинико-физиологические показатели кроликов, получавших пробиотические препараты и отмечено незначительное повышение частоты сердечных сокращений и дыхания, что связано с максимальным поступлением биологически активных веществ в организм кроликов, но данные показатели находились в пределах физиологической нормы.

У животных опытных групп в возрасте 105 суток отмечается достоверное повышение количества общего белка сыворотки крови на 8,52 и 6,54% соответственно по сравнению с контролем, а также положительная динамика увеличения морфологических показателей крови, в частности, повышение количества гемоглобина, так у второй и третьей группы количество гемоглобина достоверно превосходило контрольные значения на 5,76 г./л или 5,19% и 6,81 г./л или 6,75% соответственно.

В конце опыта был произведен контрольный убой с оценкой морфологического состава согласно общепринятой методике (таблица 2).

В опытных группах убойный выход составил 51,44% и 54,87%, в то время как в контрольной группе находился на уровне 48,00% (таблица 2). Было отмечено снижение массы жира-сырца по отношению к контрольной группе на 4,00 и 6,7%, что связано с более интенсивным отложением мышечной ткани за счет использования энергии комбикорма на фоне использования пробиотического препарата.

Масса мышечной ткани у кроликов опытных групп была больше, чем у особей в контрольной группе, что связано с увеличением трансформации питательных веществ кормового рациона на фоне применения пробиотического препарата «Субтилис-С», а также активизации выработки

ферментных систем в организме, что также способствовало более быстрому и значительному отложению питательных веществ в теле подопытных кроликов и повышению белковой составляющей мышечной ткани.

Гистологическая оценка структуры внутренних органов 3-й группы по сравнению с контрольной группой не выявила дистрофических изменений (рисунок 1).

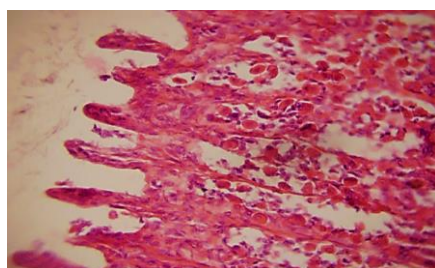
Гистологическое строение мышц кроликов опытной группы характеризовалось классическим строением для данной ткани, наблюдалась поперечная исчерченность, ядра смещены на периферию. В контрольной группе у животных гистологическое строение мышечной ткани было представлено незначительным отеком и набуханием мышечных волокон, местами волокна были разорваны и имели разную интенсивность окраски. Рисунок поперечной исчерченности сглажен. Местами выявлены деструктивные изменения мышечного волокна. Таким образом, архитектура паренхиматозных органов показала, что применение пробиотического препарата благотворно влияло на структурную организацию тканей.

Сбалансированность рационов питания оказывает непосредственное влияние на химический состав мяса кроликов, формируя его пищевую и биологическую ценность.

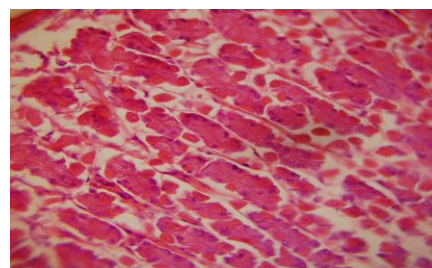
Наибольшее содержание белка, отмечено в мясе кроликов 3-й опытной группы (таблица 3), что, по-видимому, связано с более высокой трансформацией питательных веществ комбикорма под действием пробиотического комплекса «Субтилис-С» в белковую составляющую мышечной ткани. Одновременно отмечено снижение массовой доли жира, что говорит о повышении пищевой ценности мяса.

Проведенная органолептическая оценка мяса и бульона кроликов контрольной и опытных групп, показала, что наибольшей балльной оценкой характеризовались образцы вареного мяса и бульона, полученного от тушек 3 группы (8,7 балла и 8,1 соответственно).

Использование пробиотического комплекса «Субтилис-С» в составе комбикорма при проведении промышленной апробации в условиях ООО «Липецкий кролик» позволило снизить затраты комбикорма на 1,75 ЭКЕ по сравнению с контролем. Было достигнуто увеличение прибыли на 3820,0 руб. и уровня рентабельности на 17% по отношению к контрольной группе (21%) при выращивании 3 групп кроликов (по 100 голов в каждой группе).

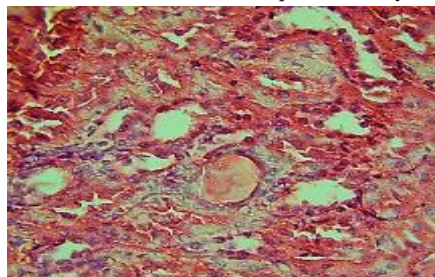


(a)

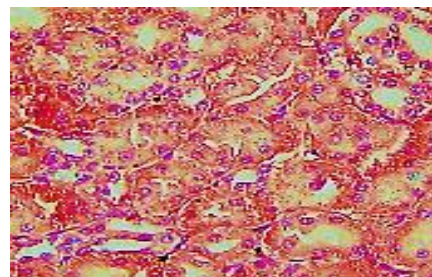


(b)

Гистологическое строение желудка кроликов | Histological structure of the stomach of rabbits

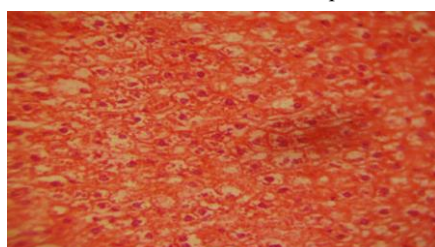


(a)

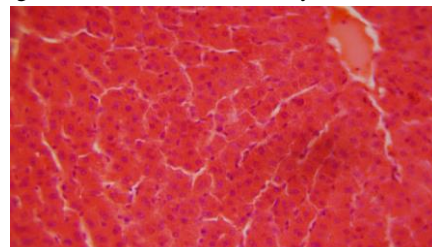


(b)

Гистологическое строение почки кроликов | Histological structure of rabbit kidneys

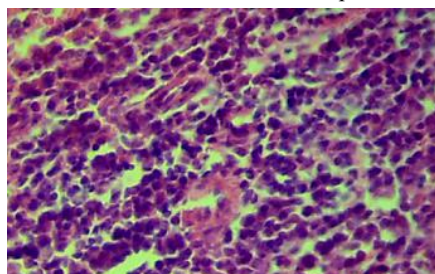


(a)

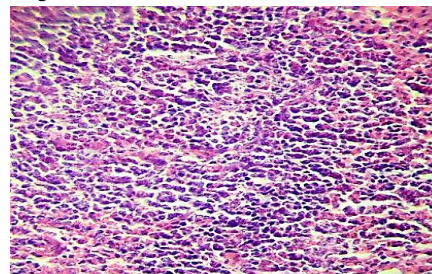


(b)

Гистологическое строение печени кроликов | Histological structure of rabbit liver



(a)



(b)

Гистологическое строение селезенки кроликов | Histological structure of the rabbit spleen

Рисунок 1. Гистоморфологическая характеристика внутренних органов: (a) – контрольная группа, (b) – опытная группа (3-я)

Figure 1. Histomorphological characteristics of internal organs: a – control group, b – experimental group (3rd)

### Закключение

Проведенное исследование показывает, что использование пробиотического комплекса «Субтилис-С» в составе комбикормов технологически оправдано, а также позволяет избежать целого ряда проблем, связанных со снижением сохранности и продуктивности поголовья, встающих перед производителями качественного мясного сырья. Доказано, что изучаемый пробиотический комплекс оказывает положительное воздействие

на организм кроликов, что позитивно сказывается на физиологическом состоянии животных, оказывает влияние на рост, развитие и сохранность поголовья.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективу ГНУ ВНИИПФИТ Россельхозакадемии и ООО «Липецкий кролик» за ценные замечания и проведение ряда исследований.

# Литература

- Birolo, M. Effect of feed restriction and feeding plans on performance, slaughter traits and body composition of growing rabbits // World Rabbit Sci. 2017. № 25. P.113–122.
- Cheryomushkina I.V., Korneeva O.S. Innovative biotechnology probiotic feed additives c and immunostimulatory effects // Research Journal of Pharmacy and Technology. 2017. V. 10. № 4. P. 1165–1167.
- Cunha S., Mendes A., Rego D., Meireles D., Fernandes R. Effect of competitive exclusion in rabbits using an autochthonous probiotic // World Rabbit Sci. 2017. № 25. P. 123–134.
- Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Derkanosova N.M., Kashirina N.A. et al. Meat productivity and quality of rabbit meat using probiotic additives and sorbents // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. V. 9. № 6. P. 1386–1394.
- Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Artemov E.S., Kashirina N.A., et al. Probiotic preparation to increase meat productivity and physiological status of the rabbits // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. V. 9. № 5. P. 2239–2247.
- Владимиров, Н.И., Владимирова Н.Ю. Мясная продуктивность и некоторые интерьерные показатели молодняка кроликов новозеландской и калифорнийской пород // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 3(173). С. 131–134.
- Квартникова Е.Г., Косовский Г.Ю., Квартников М.П. Мясная продуктивность кроликов при сухом типе кормления без витаминно-минерального премикса мясная продуктивность кроликов при кормлении без премикса // Кролиководство и звероводство. 2020. № 4. С. 34–39. doi: 10.24411/0023–4885–2020–10405
- Мунгин В.В., Гибалкина Н.И., Василькин В.М., Абушаев Р.А. Влияние пробиотической кормовой добавки "агробактериоинтенсив авес" на мясную продуктивность кроликов // Аграрный научный журнал. 2019. № 4. С. 58–59. doi: 10.28983/asj.y2019i4pp58–59
- Клименко А.С. Эффективность применения пробиотического препарата "Субтилис" в рационе кроликов // Кролиководство и звероводство. 2009. № 2. С. 6–7.
- Козлова Е.В., Малофеева Н.А. Ветеринарно-санитарная оценка и показатели безопасности мяса кроликов при применении пробиотика Субтилис-С // Инновационная наука. 2019. № 6. С. 198–202.
- Кононенко С.И. Пути снижения влияния неблагоприятных кормовых факторов на организм животных // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 119. С. 293–312.
- Курчаева Е.Е., Востроилов А.В. Влияние кормовой синбиотической добавки "Простор" на мясную продуктивность и качество мяса кроликов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2019. № 4(59). С. 127–134.
- Миронова И.В., Черненко Е.Н. Естественная резистентность кроликов при скормлении пробиотической кормовой добавки Биогумитель // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (63). С. 115–117.
- Миронова И.В., Черненко Е.Н., Черненко А.А. Показатели крови кроликов при включении в рацион пробиотической кормовой добавки Биогумитель // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (63). С. 212–215.
- Печенкин Е.В., Сагиров А.А., Горелик О.В. Мясная продуктивность кроликов разных пород // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 1. С. 127–129.
- Шабунин С.В., Бессонова Л.П., Паршин П.А. Ветеринарно-санитарные аспекты предупреждения рисков возникновения инфекционных заболеваний // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 1. С. 34–37. doi: 10.24411/0235–2451–2019–10108
- Юрина Н.А. Эффективность применения кормовых добавок Субтилис-С и Ковелос в комбикормах // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2014. Т. 17. № 1. С. 185–190.
- Убушаев Б.С., Мороз Н.Н., Харченко А.А. Продуктивность кроликов при использовании в рационах кормления гидропонного зеленого корма // Аграрно-пищевые инновации. 2022. № 2(18). С. 57–66. doi: 10.31208/2618–7353–2022–18–57–66
- Ponnampalam E.N., Dunshea F.R., Warner R.D. Use of lucerne hay in ruminant feeds to improve animal productivity, meat nutritional value and meat preservation under a more variable climate // Meat Science. 2020. V. 170. P. 108235. doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108235
- Park J.H., Kim I.H. Supplemental effect of probiotic Bacillus subtilis B2A on productivity, organ weight, intestinal Salmonella microflora, and breast meat quality of growing broiler chicks // Poultry Science. 2014. V. 93. №. 8. P. 2054–2059. doi: 10.3382/ps.2013-03818

# References

- Birolo, M. Effect of feed restriction and feeding plans on performance, slaughter traits and body composition of growing rabbits. World Rabbit Sci. 2017. no. 25. pp. 113–122.
- Cheryomushkina I.V., Korneeva O.S. Innovative biotechnology probiotic feed additives c and immunostimulatory effects. Research Journal of Pharmacy and Technology. 2017. vol. 10. no. 4. pp. 1165–1167.
- Cunha S., Mendes A., Rego D., Meireles D., Fernandes R. Effect of competitive exclusion in rabbits using an autochthonous probiotic. World Rabbit Sci. 2017. no. 25. pp. 123–134.
- Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Derkanosova N.M., Kashirina N.A. et al. Meat productivity and quality of rabbit meat using probiotic additives and sorbents. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. vol. 9. no. 6. pp. 1386–1394.
- Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V., Artemov E.S., Kashirina N.A. et al. Probiotic preparation to increase meat productivity and physiological status of the rabbits. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. vol. 9. no. 5. pp. 2239–2247.
- Vladimirov, N.I., Vladimirova N. Yu. Meat productivity and some interior indicators of young rabbits of New Zealand and California breeds. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2019. no. 3(173). pp. 131–134. (in Russian).
- Kvartnikova E.G., Kosovsky G. Yu., Kvartnikov M.P. Meat productivity of rabbits with dry type of feeding without vitamin-mineral premix meat productivity of rabbits when feeding without premix. Rabbit breeding and animal husbandry. 2020. no. 4. pp. 34–39. doi: 10.24411/0023–4885–2020–10405 (in Russian).
- Mungin V.V., Gibalkina N.I., Vasilkin V.M., Abushaev R.A. Influence of probiotic feed additive "agrobiointensive aves" on meat productivity of rabbits. Agrarian Scientific Journal. 2019. no. 4. pp. 58–59. doi: 10.28983/asj.y2019i4pp58–59 (in Russian).



- Klimenko A.S. The effectiveness of the probiotic drug "Subtilis" in the diet of rabbits. Rabbit breeding and animal husbandry. 2009. no. 2. pp. 6–7. (in Russian).
- Kozlova E.V., Malofeeva N.A. Veterinary and sanitary assessment and safety indicators of rabbit meat when using probiotic Subtilis-S. Innovative science. 2019. no. 6. pp. 198–202. (in Russian).
- Kononenko S.I. Ways to reduce the influence of adverse feed factors on the animal organism. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2016. no. 119. pp. 293–312. (in Russian).
- Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V. The influence of the feed synbiotic additive "Prostor" on meat productivity and quality of rabbit meat. Bulletin of the Michurinsky State Agrarian University. 2019. no. 4(59). pp. 127–134. (in Russian).
- Mironova I.V., Chernenkov E.N. Natural resistance of rabbits when feeding probiotic feed additive Biohumitel. Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2017. no. 1 (63). pp. 115–117. (in Russian).
- Mironova I.V., Chernenkov E.N., Chernenkova A.A. Blood parameters of rabbits when including a probiotic feed additive Biohumitel in the diet. Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2017. no. 1 (63). pp. 212–215. (in Russian).
- Pechenkin E.V., Sagirov A.A., Gorelik O.V. Meat productivity of rabbits of different breeds. Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2014. no. 1. pp. 127–129. (in Russian).
- Shabunin S.V., Bessonova L.P., Parshin P.A. Veterinary and sanitary aspects of prevention of risks of infectious diseases. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2019. vol. 33. no. 1. pp. 34–37. doi: 10.24411/0235–2451–2019–10108 (in Russian).
- Yurina N.A. The effectiveness of the use of feed additives Subtilis-S and Covelos in compound feeds. Actual problems of intensive development of animal husbandry. 2014. vol. 17. no. 1. pp. 185–190. (in Russian).
- Ubushaev B.S., Moroz N.N., Kharchenko A.A. Productivity of rabbits when used in feeding diets of hydroponic green feed. Agrarian and food innovations. 2022. no. 2(18). pp. 57–66. doi: 10.31208/2618–7353–2022–18–57–66 (in Russian).
- Ponnampalam E.N., Dunshea F.R., Warner R.D. Use of lucerne hay in ruminant feeds to improve animal productivity, meat nutritional value and meat preservation under a more variable climate. Meat Science. 2020. vol. 170. pp. 108235. doi: 10.1016/j.meatsci.2020.108235
- Park J.H., Kim I.H. Supplemental effect of probiotic Bacillus subtilis B2A on productivity, organ weight, intestinal Salmonella microflora, and breast meat quality of growing broiler chicks. Poultry Science. 2014. vol. 93. no. 8. pp. 2054–2059. doi: 10.3382/ps.2013-03818

#### Сведения об авторах

**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@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

**Елена Е. Курчаева** д.с.-х.н., профессор, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, улица Мичурина, 1 Воронеж, 394087, Россия, alena.kurchaeva@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-5958-0909>

**Лариса И. Лыткина** д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, larissaig2410@rambler.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7857-7756>

**Игорь В. Максимов** к.с.-х.н. доцент, кафедра технологий хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, улица Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, maximus880@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9713-0159>

**Дмитрий А. Попов** экстерн, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, demon-donbass@ya.ru

**Андрей Н. Звягин** экстерн, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, andzvyagin@gmail.com

#### 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

**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@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

**Elena E. Kurchaeva** Dr. Sci. (Agric.), professor, private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, alena.kurchaeva@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-5958-0909>

**Larisa I. Lytkina** Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of bakery, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, larissaig2410@rambler.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7857-7756>

**Igor V. Maksimov** Cand. Sci. (Agric.), associate professor, technologies of storage and processing of agricultural products department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, maximus880@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9713-0159>

**Dmitry A. Popov** extern, private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, demon-donbass@ya.ru

**Andrey N. Zvyagin** extern, private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, andzvyagin@gmail.com

#### 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 17/10/2022	После редакции 09/11/2022	Принята в печать 28/11/2022
Received 17/10/2022	Accepted in revised 09/11/2022	Accepted 28/11/2022

## Антиоксидантная и антимикробная активность галофита *Tamarix ramosissima* и его применение в пищевой промышленности

Дарина И. Половинкина	<sup>1</sup>	<a href="mailto:darina.ruban@ya.ru">darina.ruban@ya.ru</a>	
Михаил А. Егоров	<sup>2</sup>	<a href="mailto:egorovs.mail@gmail.com">egorovs.mail@gmail.com</a>	
Людмила Т. Сухенко	<sup>2</sup>	<a href="mailto:sukhenko@list.ru">sukhenko@list.ru</a>	 0000-0001-5841-655X
Ольга В. Новиченко	<sup>2</sup>	<a href="mailto:ollevi@bk.ru">ollevi@bk.ru</a>	 0000-0002-4282-9728
Аделя С. Баймухамбетова	<sup>1,2</sup>		 0000-0001-5788-6242


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

<sup>2</sup> Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева, ул. Татищева, 20а, г. Астрахань, 414056, Россия

**Аннотация.** *Tamarix ramosissima* является галофитным видом, обладающим мочегонным, потогонным, вяжущим, обезболивающим и кровоостанавливающим действием. Из него готовят отвары и настои, используемые при различных заболеваниях. Настой из цветков полезен при воспалениях желудка, отвар ветвей эффективен при ревматизме, настой из листьев и коры назначают при поносах, кровотечениях и болезнях селезенки. Веточки тамарикса заваривают как чай. В прошлом отвар из плодов растения применяли на Кавказе против бесплодия, а отваром ветвей лечили сифилис. В этой работе мы исследовали антиоксидантную и антимикробную активность экстрактов соцветий *Tamarix ramosissima*, как добавку в пищевой промышленности. Результаты показали, что соцветия проявляют высокую антиоксидантную активность, степень ингибирования при 20 мкл исследуемого материала в 9 раз больше, по сравнению с аскорбиновой кислотой и в 3 раза по сравнению с эмоксином. Кроме того, экстракты тамарикса показали заметные антибактериальные свойства против штамма *Staphylococcus aureus*. Самая сильная активность была зарегистрирована у 70% водноспиртового экстракта соцветий при минимальной концентрации 1 к 10. Эти данные свидетельствуют о том, что тамарикс может рассматриваться как интересный источник антиоксидантов для терапевтической или пищевой промышленности и для производства пищевых продуктов. Эти показатели характеризуют экстракты тамарикса как объект для дальнейшего изучения, и без сомнения являются перспективным и малоизученным сырьем для пищевой промышленности.

**Ключевые слова:** антиоксидантная активность, антимикробная активность, галофит, *Tamarix ramosissima*.

## Antioxidant and antimicrobial activity of *Tamarix ramosissima* halophyte and its application in the food industry

Darina I. Polovinchina	<sup>1</sup>	<a href="mailto:darina.ruban@ya.ru">darina.ruban@ya.ru</a>	
Mikhail A. Egorov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:egorovs.mail@gmail.com">egorovs.mail@gmail.com</a>	
Ludmila T. Sukhenko	<sup>2</sup>	<a href="mailto:sukhenko@list.ru">sukhenko@list.ru</a>	 0000-0001-5841-655X
Olga V. Novichenko	<sup>2</sup>	<a href="mailto:ollevi@bk.ru">ollevi@bk.ru</a>	 0000-0002-4282-9728
Adelia S. Baimukhambetova	<sup>1,2</sup>		 0000-0001-5788-6242

<sup>1</sup> Russian Biotechnological University, 11 Volokolamsk shosse, Moscow, 125080, Russia

<sup>2</sup> Astrakhan State University name V.N. Tishchev, 20a Tishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia

**Abstract.** *Tamarix ramosissima* is a halophytic species with diuretic, diaphoretic, astringent, analgesic and hemostatic effects. Decoctions and infusions used for various diseases are prepared from it. Infusion of flowers is useful for stomach inflammation, decoction of branches is effective for rheumatism, infusion of leaves and bark is prescribed for diarrhea, bleeding and diseases of the spleen. Tamarix twigs are brewed like tea. In the past, a decoction of the fruits of the plant was used in the Caucasus against infertility, and a decoction of branches treated syphilis. In this work, we investigated the antioxidant and antimicrobial activity of *Tamarix ramosissima* inflorescence extracts as an additive in the food industry. The results showed that the inflorescences exhibit high antioxidant activity, the degree of inhibition at 20 µl of the studied material is 9 times greater, compared with ascorbic acid and 3 times compared with emoxypine. In addition, tamarisk extracts have shown noticeable antibacterial properties against the *Staphylococcus aureus* strain. The strongest activity was recorded in 70% of the water-alcohol extract of inflorescences at a minimum concentration of 1 to 10. These data indicate that tamarix can be considered as an interesting source of antioxidants for the therapeutic or nutraceutical industry and for food production. These indicators characterize tamarisk extracts as an object for further study, and without a doubt are promising and little-studied raw materials for the food industry.

**Keywords:** antioxidant activity, antimicrobial activity, halophyte, *Tamarix ramosissima*.

### Для цитирования

Половинкина Д.И., Егоров М.А., Сухенко Л.Т., Новиченко О.В., Баймухамбетова А.С., Рубан Н.В. Антиоксидантная и антимикробная активность галофита *Tamarix ramosissima* и его применение в пищевой промышленности // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 53–58. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-53-58

### For citation

Polovinchina D.I., Egorov M.A., Sukhenko L.T., Novichenko O.V., Baimukhambetova A.S., Ruban N.V. Antioxidant and antimicrobial activity of *Tamarix ramosissima* halophyte and its application in the food industry. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 53–58. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-53-58

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

## Введение

Солеустойчивые растения растут в самых разных засоленных местах обитания, от прибрежных районов, солончаков и илистых отложений до внутренних пустынь, солончаков и степей [1]. Галофиты, живущие в этих экстремальных условиях, должны иметь дело с частыми изменениями уровня солености. Это может быть сделано путем разработки адаптивных реакций, включая синтез нескольких биоактивных молекул. Следовательно, несколько солончаковых растений традиционно использовались для медицинских, пищевых и даже кустарных целей.

В настоящее время эти виды вызывают все больший интерес из-за их высокого содержания биологически активных соединений (первичных и вторичных метаболитов), таких как полиненасыщенные жирные кислоты, каротиноиды, витамины, стерины, эфирные масла (терпены), полисахариды, гликозиды и фенольные соединения [2–5]. Эти биоактивные вещества проявляют мощную антиоксидантную, антимикробную, противовоспалительную и противоопухолевую активность и, следовательно, представляют собой ключевые соединения в предотвращении различных заболеваний (например, рака, хронического воспаления, атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний) и процессов старения. А также использования в качестве источников здорового питания, нутрицевтиков [6–8].

Тамарикс (*Tamarix ramosissima* Ledeb) является солевывделяющим галофитом (криногалофитом, криптогалофитом), который характеризуется способностью пропускать через себя большое количество ионов натрия и хлора и выделять их через специализированные органы (солевые железы) на поверхности фотосинтезирующих органов (листьев, веточек) в виде солей. Установлено, что это растение богато полифенольными соединениями, такими как флавоноиды, серосодержащие флавоноиды, фенольные кислоты, гидролизуемые дубильные вещества и кумарины [9–12]. Широко распространен в Евразии, в т. ч. на юге России в Прикаспийской низменности, Африке и Северной Америке [13].

Тамариск – это съедобный галофит, который легко выращивается в самых разных климатических условиях, включая засушливые районы. Несколько фармакологических действий были продемонстрированы для *Tamarix*; однако немногие коммерческие добавки использовали это растение в своих рецептурах. Одной из причин ограниченного использования *Tamarix* является отсутствие исследований по терапевтическому и токсикологическому характеристикам.

**Цель работы** – изучение антиоксидантных и антимикробных свойств экстрактов галофита *Tamarix ramosissima*, как потенциальная пищевая добавка

## Материалы и методы

Объектами исследования являлись экстракты растения *Tamarix ramosissima*: соцветий, побегов и листьев.

Материалы для исследования были собраны в Астраханской области, в августе 2021 года, во время вегетации. Собранный растительный материал высушивали при постоянном поступлении воздуха в теневых условиях, до полной потери влаги (70–90 % влаги). Высушенные части растений – соцветия, листья и побеги подвергали экстрагированию методом мацерации с применением различных экстрагентов: водноспиртовой 40 %, водноспиртовой 70 %, водный экстракт.

Оценку антиоксидантной активности (АОА) проводили методом, основанный на реакции ДФПГ (2,2 – дифенил-1-пикрилгидразил ( $C_{18}H_{12}N_5O_6$ ,  $M = 394,33$ ) на цифровом фотоэлектроколориметре AP-101 при длине волны 510 нм [14–15].

Для сравнения антиоксидантной активности был проведен анализ лекарственных препаратов: 5 %-ный водно-солевой раствор аскорбиновой кислоты (50 мг/мл) (ОАО «Борисовский завод медицинских препаратов», г. Борисов, Беларусь) и 1 %-ный раствор эмоксипина (ФГУП «Московский эндокринный завод, г. Москва, Россия) [16]. Каждый опыт был повторен три раза, доверительный интервал вычисляли статистическими методами с использованием коэффициента Стьюдента (доверительная вероятность 0,95).

Антимикробную активность проводили методом КОЕ-колониеобразующих единиц, изучали способности клеток стафилококка размножаться в присутствии экстрактивных компонентов тамарикса на искусственных питательных средах. Для этого на искусственную питательную среду (АГВ) наносили суспензию стафилококка, которая состояла из клеток микроорганизма, разведенного в физиологическом растворе (контроль) в стандарте мутности  $10,0 \cdot 10^8$ . Этими суспензиями засеивали среду АГВ и наблюдали результаты роста колоний *Staphylococcus aureus* под воздействием экстрактов и в контролях.

## Результаты

В качестве показателей антиоксидантных свойств водноспиртовых экстрактов соцветий *Tamarix ramosissima*, аскорбиновой кислоты и эмоксипина были выбраны антиоксидантная активность АОА % и степень ингибирования СИ %.

Антиоксидантную активность (АОА, %) вычисляли по формуле [17–19]:

$$АОА = (D_k - D_{оп}) \cdot 100 / D_k,$$

где  $D_k$  – оптическая плотность в контрольном образце;  $D_{оп}$  – оптическая плотность в опытном образце.

Степень ингибирования (СИ, %) рассчитывали по формуле [20–21]:

$$СИ = (A_0 - (A - A_x) / A_0) \times 100,$$

где  $A_0$  – оптическая плотность ДФПГ без исследуемого образца при  $\lambda = 517$  нм;  $A$  – оптическая плотность исследуемого образца с добавлением ДФПГ при  $\lambda = 517$  нм;  $A_x$  – оптическая плотность исследуемого образца без добавления ДФПГ при  $\lambda = 517$  нм.

Результаты исследования антиоксидантных свойств лекарственных препаратов и растительных экстрактов в различных концентрациях представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты по антиоксидантной активности экстрактов соцветий *Tamarix ramosissima* и лекарственных препаратов

Table 1.

Results on antioxidant activity of extracts of *Tamarix ramosissima* inflorescences and medicinal preparations

Объем, мкл Volume, µl	Образец   Sample	Антиоксидантная активность, % Antioxidant activity	Степень ингибирования, % Degree of inhibition%
10	Экстракт соцветий   Inflorescence extract	65,5	87,0
	Эмоксипин   Emoxipin	36,12	30,29
	Аскорбиновая кислота   ascorbic acid	43,63	18,02
20	Экстракт соцветий   Inflorescence extract	78,5	99,9
	Эмоксипин   Emoxipin	43,63	37,81
	Аскорбиновая кислота   ascorbic acid	11,5	17,10
50	Экстракт соцветий   Inflorescence extract	72,0	93,4
	Эмоксипин   Emoxipin	76,1	70,32
	Аскорбиновая кислота   ascorbic acid	21,32	26,92
100	Экстракт соцветий   Inflorescence extract	73,3	94,7
	Эмоксипин   Emoxipin	40,49	34,66
	Аскорбиновая кислота   ascorbic acid	24,0	29,6

Полученные результаты свидетельствуют о том, что экстракт соцветий *Tamarix ramosissima* обладает антиоксидантной активностью при всех исследуемых концентрациях. Наибольший показатель АОА проявил экстракт при 20 мкл. Высокую степень ингибирования свободнорадикальных процессов, также, как и в случае с АОА, проявил экстракт соцветий, *Tamarix ramosissima* при той же концентрации.

Растворы лекарственных препаратов аскорбиновой кислоты и эмоксипина, которые были взяты для сравнения, по литературным данным обладают выраженной антиоксидантной активностью [16]. Однако проведенные исследования показали низкую АОА и СИ по сравнению с водно-спиртовыми экстрактами *Tamarix ramosissima*. Это можно объяснить тем, что препараты лекарственного назначения имеют низкую концентрацию активного вещества (в 1 мл водно-солевого раствора содержится 50 мг аскорбиновой кислоты; в 1 мл раствора эмоксипина содержится 1 мг метилэтилпиридинола). С другой стороны, исследуемые растения содержат в своем составе соединения, которые являются сильными природными антиоксидантами (полифенольные вещества), что свидетельствует о перспективном использовании водно-этанольных экстрактов с антиоксидантными свойствами в различных отраслях промышленности, в том числе и в виде пищевых добавок.

Исследовали сравнительные данные формирования колоний стафилококка после экспозиции стафилококковых суспензий с экстрактами тамарикса. Наибольшее влияние экстракты оказывают в случае присутствия их в средах для культивирования микроорганизмов. В этом случае можно говорить о влиянии экстрагируемых растительных компонентов на физиологическом и биохимическом уровне, а не только на поверхностные структуры микробных клеток.

Таблица 2.

Влияние различных экстрактов *Tamarix ramosissima* на развитие колоний *Staphylococcus aureus* (метод КОЕ)

Table 2.

The effect of various extracts of *Tamarix ramosissima* on the development of colonies of *Staphylococcus aureus* (CFU method)

Экстракты Extracts	Tamarix ramosissima		
	Соцветия Inflorescences	Листья Foliage	Побеги Shoots
Контроль Control	139,6 ± 1,9 *	139,6 ± 1,9 *	139,6 ± 1,9 *
Водноспиртовой 40% Hydroalcoholic 40%	22,6 ± 0,6 *	16,2 ± 0,4 *	17,6 ± 0,2 *
Водный   Water	35,0 ± 1,8 *	39,2 ± 0,8 *	18,9 ± 0,5 *
Водноспиртовой 70% Hydroalcoholic 70%	14,6 ± 0,2 *	17,6 ± 0,2 *	16,2 ± 0,3 *
Водноспирт 70% + водный Hydroalcoholic 70% +Water	15,2 ± 0,3 *	12,2 ± 0,03 *	13,6 ± 0,1 *



В таблице 2 представлены результаты изучения сравнительной активности экстрактов, полученных сходной методикой экстрагирования мацерацией с применением различных экстрагентов: водноспиртовой 40; 70%, водный. И как видно из таблицы, экстракты, приготовленные с применением нескольких экстрагентов (воды, водноспиртового раствора 40 и 70%), четко и достоверно подавляют *Staphylococcus aureus*. Причем, водный и смешанный экстракты растений сравнимы по воздействию на стафилококк, а водно-спиртовые экстракты тамарикса, содержащие большое сочетание биофлавоноидов, выделяемых из растительного сырья, оказывают более активное влияние. Так наибольший показатель подавления КОЕ *Staphylococcus aureus* при воздействии экстрактов соцветий *Tamarix ramosissima* наблюдалось при использовании 70 % водноспиртового экстракта, он почти в 3 раза действеннее чем использование водного экстракта этих же соцветий. При изучении действия экстрактов листьев и побегов тамарикса выявлено, что наибольший эффект наблюдался у смеси 70 % водноспиртового экстракта с водным. Смеси этих компонентов, экстрагированных различными экстрагентами, иногда повышают свою активность до полного подавления тест-микроорганизма.

Следующим этапом исследований явилось изучение возможности подавления роста микробных клеток *Staphylococcus aureus* разными концентрациями экстрактов растений в суспензиях, а также влияния экстрактов этих растений, входящих в питательные среды. В таблице 3 представлены результаты отработки минимальных ингибирующих концентраций (МИК) растительных антимикробных веществ в отношении золотистого стафилококка.

Как видно из данной таблицы, в отношении экстрактов всех растений прослеживается зависимость воздействия на микробные клетки от дозы. Наибольший эффект наблюдается при введении экстрактов в питательную среду МПА, где подавление наблюдается в 5 раз.

Таблица 3.  
Влияние различных доз экстрактов растений на развитие *Staphylococcus aureus* (метод КОЕ –  $10,0 \times 10^8$ )

Table 3.  
The effect of different doses of plant extracts on the development of *Staphylococcus aureus* (CFU method –  $10.0 \times 10^8$ )

Объекты Objects	Соцветия Inflorescences	Листья Foliage	Побеги Shoots
Контроль Control	$329,6 \pm 7,9^{**}$	$329,6 \pm 7,9^{**}$	$329,2 \pm 7,9^*$
1:1000	$300,8 \pm 0,3^*$	$118,0 \pm 18,5^*$	$218 \pm 18,5^*$
1:50	$201,0 \pm 15,7$	$49,8 \pm 3,8^*$	$79,8 \pm 3,8^*$
1:10	$107,0 \pm 8,7^*$	$28,6 \pm 0,9^*$	$48,6 \pm 0,9^*$
МПА + экст.	$65,0 \pm 5,7^{**}$	$41,6 \pm 0,3^{**}$	$34,7 \pm 0,2^{**}$

\* – доверительная вероятность  $\geq 0,95$

\* – confidence level  $\geq 0.95$

### Заключение

На основании приведённых экспериментальных данных сделано заключение о перспективном использовании водно-этанольных экстрактов *Tamarix ramosissima* с антиоксидантными и антистафилококковыми свойствами в различных отраслях промышленности, в том числе и в виде пищевых добавок в качестве компонентов для сохранности и обогащения многих видов пищевой продукции.

Полученные данные позволяют рекомендовать экстракты *Tamarix ramosissima* для исследований в качестве пищевых добавок в виде индивидуальной добавки, либо в комплексе с другими компонентами, для возможности внесения его в качестве добавки в колбасные, рыбные и молочные изделия, для приготовления газированных напитков и пива

Эти показатели характеризуют экстракты тамарикса как объект для дальнейшего изучения, и без сомнения являются перспективным и малоизученным сырьем для пищевой промышленности.

### Литература

- 1 Caparrós P.G. et al. Halophytes have potential as heavy metal phytoremediators: A comprehensive review // Environmental and Experimental Botany. 2022. V. 193. P. 104666. doi: 10.1016/j.envexpbot.2021.104666
- 2 Lopes M. et al. Halophytes as source of bioactive phenolic compounds and their potential applications // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021. P. 1–24. doi: 10.1080/10408398.2021.1959295
- 3 Бердимбетова Г.Е., Оразова Ш.Ш. элементный состав цистанхе солончаковой (cistanchesalsa) произрастающей в Республике Каракалпакстан // Universum: химия и биология. 2022. №. 5–2 (95). P. 41–46. doi: 10.32743/UniChem.2022.95.5.13600
- 4 Менделева В.П., Волкова И.В. Использование растений семейства Asteraceae в фиторемедиации почв Астраханской области // ББК 1 Е91. 2020. P. 27.
- 5 Жумашева А.М. Ценное растение флоры Казахстана перспективное в качестве афродизиака // Современные тенденции в науке и образовании. 2020. P. 15–21.
- 6 Ksouri R. et al. Medicinal halophytes: potent source of health promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications // Critical reviews in biotechnology. 2012. V. 32. №. 4. P. 289–326. doi: 10.3109/07388551.2011.630647
- 7 Castañeda-Loaiza V. et al. Wild vs cultivated halophytes: Nutritional and functional differences // Food Chemistry. 2020. V. 333. P. 127536. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127536

- 8 Petropoulos S.A. et al. Edible halophytes of the Mediterranean basin: Potential candidates for novel food products // Trends in food science & technology. 2018. V. 74. P. 69–84. doi: 10.1016/j.tifs.2018.02.006
- 9 Sultanova N. et al. Antioxidant and antimicrobial activities of *Tamarix ramosissima* // Journal of ethnopharmacology. 2001. V. 78. №. 2–3. P. 201–205. doi: 10.1016/S0378–8741(01)00354–3
- 10 Ren X. et al. Isorhamnetin and hispidulin from *tamarix ramosissima* inhibit 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo [4, 5-b] Pyridine (PhIP) formation by trapping phenylacetaldehyde as a key mechanism // Foods. 2020. V. 9. №. 4. P. 420. doi: 10.3390/molecules24030390
- 11 Ren X. et al. Inhibitory Effect of *Tamarix ramosissima* Extract on the Formation of Heterocyclic Amines in Roast Lamb Patties by Retarding the Consumption of Precursors and Preventing Free Radicals // Foods. 2022. V. 11. №. 7. P. 1000. doi: 10.3390/foods11071000
- 12 Bahramsoltani R. et al. The genus *Tamarix*: Traditional uses, phytochemistry, and pharmacology // Journal of ethnopharmacology. 2020. V. 246. P. 112245. doi: 10.1016/j.jep.2019.112245
- 13 Шуйская Е.В., Лебедева М.П., Колесников А.В., Борисочкина Т.И., Тодерич К.Н. Химический состав солей выделяемых тамариксом (*Tamarix ramosissima*), произрастающим в условиях различного засоления почв // Бюл. Почв. ин-та. 2016. № 82. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskiy-sostav-soley-vydelyaemyh-tamariksom-tamarix-ramosissima-proizrastayuschim-v-usloviyah-razlichnogo-zasoleniya-pochv>
- 14 Хасанов В.В., Рыжова Г.Л., Мальцева Е.В. Методы исследования антиоксидантов // Химия растительного сырья. 2004. № 3. С. 63–75.
- 15 Fabris S., Bertelle M., Astafyeva O., Gregoris E. et al. Antioxidant properties and chemical composition relationship of Europeans and Brazilians propolis // Pharmacology & Pharmacy. 2013. V. 4. P. 64–51. doi:10.4236/pp.2013.41006
- 16 Коленченко Е.А., Сониная Л.Н., Хотимченко Ю.С. Сравнительная оценка антиоксидантной активности низкоэтерифицированного пектина из морской травы *Zostera marina* и препаратов антиоксидантов in vitro // Биология моря. 2005. Т. 31. № 5. С. 380–383.
- 17 Федосеева А.А., Лебедева О.С., Каниболоцкая Л.В., Шендрик А.Н. Антиоксидантная активность настоев чая // Химия растительного сырья. 2008. № 3. С. 123–127.
- 18 Батаева Ю.В. и др. Исследование антиоксидантной активности и состава метаболитов цианобактерий методами ТСХ, ВЭТСХ, ВЭЖХ с целью поиска экологически безопасных агентов очистки // Экологическая химия. 2018. Т. 27. №. 4. С. 175–181.
- 19 Астафьева О.В., Жаркова З.В., Генатуллина Г.Н. Исследование фенольных соединений и антиоксидантной активности экстрактов соцветий *Tagetes Patula L* // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2021. Т. 15. №. 4. С. 116–120.
- 20 Шпигун Л.К., Замятина Н.Н., Шушеначев Я.В., Камилова П.М. Методы количественной оценки антиоксидантной активности лекарственных веществ на основе свободнорадикальных реакций // Сборник трудов ежегодной научной конференции – конкурса ИОНХ РАН. Москва. 2010. С. 148–151.
- 21 Астафьева О.В. и др. Исследование химического состава и противомикробной активности экстрактов из соцветий *Tagetes Patula L* // Современные проблемы науки и образования. 2020. №. 6. С. 178–178.

### References

- 1 Caparrós P.G. et al. Halophytes have potential as heavy metal phytoremediators: A comprehensive review. Environmental and Experimental Botany. 2022. vol. 193. pp. 104666. doi: 10.1016/j.envexpbot.2021.104666
- 2 Lopes M. et al. Halophytes as a source of bioactive phenolic compounds and their potential applications. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021. pp. 1–24. doi: 10.1080/10408398.2021.1959295
- 3 Berdimbetova G.E., Orazova Sh. Sh. elemental composition of cistanche saline (cistanchesalsa) growing in the Republic of Karakalpakstan. Universum: chemistry and biology. 2022. no. 5–2 (95). pp. 41–46. doi: 10.32743/UniChem.2022.95.5.13600 (in Russian).
- 4 Mendeleva V.P., Volkova I.V. The use of plants of the Asteraceae family in phytoremediation of soils of the Astrakhan region. bbk 1 e91. 2020. pp. 27. (in Russian).
- 5 Zhumasheva A.M. A valuable plant of the flora of Kazakhstan promising as an aphrodisiac. Current trends in science and education. 2020. pp. 15–21. (in Russian).
- 6 Ksouri R. et al. Medicinal halophytes: potent source of health promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications. Critical reviews in biotechnology. 2012. vol. 32. no. 4. pp. 289–326. doi: 10.3109/07388551.2011.630647
- 7 Castañeda-Loaiza V. et al. Wild vs cultivated halophytes: Nutritional and functional differences. Food Chemistry. 2020. vol. 333. pp. 127536. doi:10.1016/j.foodchem.2020.127536
- 8 Petropoulos S.A. et al. Edible halophytes of the Mediterranean basin: Potential candidates for novel food products. Trends in food science & technology. 2018. vol. 74. pp. 69–84. doi: 10.1016/j.tifs.2018.02.006
- 9 Sultanova N. et al. Antioxidant and antimicrobial activities of *Tamarix ramosissima*. Journal of ethnopharmacology. 2001. vol. 78. no. 2–3. pp. 201–205. doi: 10.1016/S0378–8741 (01) 00354–3
- 10 Ren X. et al. Isorhamnetin and hispidulin from *tamarix ramosissima* inhibit 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo [4, 5-b] Pyridine (PhIP) formation by trapping phenylacetaldehyde as a key mechanism. Foods. 2020. vol. 9. no. 4. pp. 420. doi: 10.3390/molecules24030390
- 11 Ren X. et al. Inhibitory Effect of *Tamarix ramosissima* Extract on the Formation of Heterocyclic Amines in Roast Lamb Patties by Retarding the Consumption of Precursors and Preventing Free Radicals. Foods. 2022. vol. 11. no. 7. pp. 1000. doi: 10.3390/foods11071000
- 12 Bahramsoltani R. et al. The genus *Tamarix*: Traditional uses, phytochemistry, and pharmacology. Journal of ethnopharmacology. 2020. vol. 246. pp. 112245. doi: 10.1016/j.jep.2019.112245

13 Shuiskaya E.V., Lebedeva M.P., Kolesnikov A.V., Borisochkina T.I., Toderich K.N. Chemical composition of salts secreted by tamarix (*Tamarix ramosissima*) growing in conditions of various soil salinization. *Byul. Soil. in-ta*. 2016. no. 82. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskiy-sostav-soley-vydelyaemyh-tamariksom-tamarix-ramosissima-proizrastayuschim-v-usloviyah-razlichnogo-zasoleniya-pochv> (in Russian).

14 Khasanov V.V., Ryzhova G.L., Maltseva E.V. Methods of research of antioxidants. *Chemistry of plant raw materials*. 2004. no. 3. pp. 63–75. (in Russian).

15 Fabris S., Bertelle M., Astafyeva O., Gregoris E. et al. Antioxidant properties and chemical composition relationship of Europeans and Brazilians propolis. *Pharmacology & Pharmacy*. 2013. vol. 4. pp. 64–51. doi:10.4236/pp.2013.41006

16 Kolenchenko E.A., Sonina L.N., Khotimchenko Y.S. Comparative assessment of antioxidant activity of low-esterified pectin from the sea grass *Zostera marina* and antioxidant preparations in vitro. *Biology of the sea*. 2005. vol. 31. no. 5. pp. 380–383. (in Russian).

17 Fedoseeva A.A., Lebedkova O.S., Kanibolotskaya L.V., Shendrik A.N. Antioxidant activity of tea infusions. *Chemistry of plant raw materials*. 2008. no. 3. pp. 123–127. (in Russian).

18 Bataeva Yu.V. et al. Investigation of antioxidant activity and composition of cyanobacteria metabolites by TLC, VETS, HPLC methods in order to search for environmentally safe cleaning agents. *Environmental chemistry*. 2018. vol. 27. no. 4. pp. 175–181. (in Russian).

19 Astafyeva O.V., Zharkova Z.V., Genatullina G.N. Investigation of phenolic compounds and antioxidant activity of extracts of inflorescences of *Tagetes Patula* L. *Bulletin of New Medical Technologies*. Electronic edition. 2021. vol. 15. no. 4. pp. 116–120. (in Russian).

20 Shpigun L.K., Zamyatina N.N., Shushenachev Ya.V., Kamilova P.M. Methods of quantitative assessment of antioxidant activity of medicinal substances based on free radical reactions. *Proceedings of the annual scientific conference – competition of the IONKH RAS*. Moscow. 2010. pp. 148–151. (in Russian).

21 Astafyeva O.V. et al. Investigation of the chemical composition and antimicrobial activity of extracts from inflorescences of *Tagetes Patula* L. *Modern problems of science and education*. 2020. no. 6. pp. 178–178. (in Russian).

#### Сведения об авторах

**Дарина И. Половинкина** аспирант, кафедра биоэкологии и биологической безопасности, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, [darina.ruban@ya.ru](mailto:darina.ruban@ya.ru)

**Михаил А. Егоров** д.б.н., профессор, кафедра биотехнологии, зоологии и аквакультуры, Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева, ул. Татищева 20а, г. Астрахань, 414056, Россия, [egorovs.mail@gmail.com](mailto:egorovs.mail@gmail.com)

**Людмила Т. Сухенко** д.б.н., профессор, кафедра биотехнологии, зоологии и аквакультуры, Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева, ул. Татищева 20а, г. Астрахань, 414056, Россия, [sukhenko@list.ru](mailto:sukhenko@list.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-5841-655X>

**Ольга В. Новиченко** к.т.н., доцент, кафедра биотехнологии, зоологии и аквакультуры, Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, ул. Татищева 20а, г. Астрахань, 414056, Россия, [ollevi@bk.ru](mailto:ollevi@bk.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-4282-9728>

**Аделя С. Баймухамбетова** к.х.н., доцент, кафедра биоэкологии и биологической безопасности, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-5788-6242>

#### 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

**Darina I. Polovinchina** postgraduate student, bioecology and biological safety department, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamsk shosse, Moscow, 125080, Russia, [darina.ruban@ya.ru](mailto:darina.ruban@ya.ru)

**Mikhail A. Egorov** Dr. Sci. (Biol.), professor, biotechnology, zoology and aquaculture department, Astrakhan State University name V.N. Tatishchev, 20a Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia, [egorovs.mail@gmail.com](mailto:egorovs.mail@gmail.com)

**Ludmila T. Sukhenko** Cand. Sci. (Biol.), professor, biotechnology, zoology and aquaculture department, Astrakhan State University name V.N. Tatishchev, 20a Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia, [sukhenko@list.ru](mailto:sukhenko@list.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-5841-655X>

**Olga V. Novichenko** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biotechnology, zoology and aquaculture department, Astrakhan State University name V.N. Tatishchev, 20a Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia, [ollevi@bk.ru](mailto:ollevi@bk.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-4282-9728>

**Adelia S. Baimukhambetova** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, bioecology and biological safety department, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamsk shosse, Moscow, 125080, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-5788-6242>

#### 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 20/09/2022	После редакции 12/10/2022	Принята в печать 22/11/2022
Received 20/09/2022	Accepted in revised 12/10/2022	Accepted 22/11/2022

## Пищевая композиция для алиментарной коррекции пищевых рационов детей подросткового возраста

Татьяна В. Алексеева <sup>1,2</sup>	<a href="mailto:zyablova@mail.ru">zyablova@mail.ru</a>	 0000-0001-8035-7293
Наталья Е. Назарова <sup>2</sup>	<a href="mailto:nazarova-iptd@mail.ru">nazarova-iptd@mail.ru</a>	 0000-0003-3373-3270
Анна И. Орлова <sup>2</sup>	<a href="mailto:annasamurina@mail.ru">annasamurina@mail.ru</a>	 0000-0001-8708-6537
Юлия Ю. Давыдова <sup>1</sup>	<a href="mailto:sovann@ya.ru">sovann@ya.ru</a>	 0000-0003-0627-4021
Ирина Р. Новик <sup>1</sup>	<a href="mailto:irnovik@mail.ru">irnovik@mail.ru</a>	 0000-0002-4621-1001
Наталья А. Пиманова <sup>1</sup>	<a href="mailto:chem-sem@ya.ru">chem-sem@ya.ru</a>	 0000-0003-1284-8765







<sup>1</sup> Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, ул. Ульянова, 1, г. Нижний Новгород, 603000, Россия

<sup>2</sup> Институт пищевых технологий и дизайна – филиал Нижегородского государственного инженерно-экономического университета, ул. Горная, 13, г. Нижний Новгород, 603062, Россия

**Аннотация.** В статье обсуждаются вопросы необходимости создания и востребованности на потребительском рынке товарных продуктовых линеек для детей подросткового возраста. Авторами предлагается состав пищевой системы для обогащения снековой продукции для подростков. В качестве компонентов пищевой системы были выбраны: жмых зародышей пшеницы, концентрат сывороточного белка, нут продовольственный и порошок ламинарии японской. Выбранные виды отечественного сырья обладают высоким биопотенциалом, привлекательными экономическими характеристиками и весьма перспективны при производстве пищевой продукции для детей старшей возрастной группы. Содержание белка в пищевой системе составляло 47 г на 100 г продукта. Применение обогатителя в составе готовых изделий, при полученном общем содержании белка целесообразно, поскольку его количество сопоставимо с суточной нормой, что прогнозируемо подтверждает принципы функциональности пищевой продукции. Технологический процесс производства пищевой системы включал этапы приёмки и подготовки сырья, дозирования и смешивания компонентов, упаковку. Исходя из данных удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах и энергии можно констатировать, что содержание в ПОС витаминов А, D, В<sub>7</sub>, селена, хрома и меди имело уровень 15% и менее. Концентрация витаминов: В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>9</sub>, В<sub>12</sub>, С, К и минеральных веществ – кальция, фосфора, калия, натрия, хлоридов, молибдена, фтора находилась в рамках 20–50%. При этом содержание железа, цинка, магния и витамина Е установлено более 50% или на уровне средней суточной потребности, что позволяет включать пищевую систему в изделия как витаминизированную добавку. Богатый витаминно-минеральный состав обогатителя прогнозируемо обеспечивает поддержание множества функций интенсивно развивающегося организма подростка, включая обеспечение правильной работы костной системы, мышц, сердца и мозга, выработку ферментов и гормонов. Высокая биологическая ценность добавки предполагает перспективность ее применения в качестве белкового и витаминно-минерального обогатителя в производстве высокоуглеводных кондитерских изделий, в частности снековых батончиков.

**Ключевые слова:** питание детей, снековые батончики, пищевая система, жмых зародышей пшеницы, концентрат сывороточного белка, нут продовольственный, порошок ламинарии, биологическая ценность

## Research of consumer preferences in the production of bioactive pates for nutrition of pregnant women

Tatyana V. Alekseeva <sup>1,2</sup>	<a href="mailto:zyablova@mail.ru">zyablova@mail.ru</a>	 0000-0001-8035-7293
Natalia E. Nazarova <sup>2</sup>	<a href="mailto:nazarova-iptd@mail.ru">nazarova-iptd@mail.ru</a>	 0000-0003-3373-3270
Anna I. Orlova <sup>2</sup>	<a href="mailto:annasamurina@mail.ru">annasamurina@mail.ru</a>	 0000-0001-8708-6537
Julia Y. Davydova <sup>1</sup>	<a href="mailto:sovann@ya.ru">sovann@ya.ru</a>	 0000-0003-0627-4021
Irina R. Novik <sup>1</sup>	<a href="mailto:irnovik@mail.ru">irnovik@mail.ru</a>	 0000-0002-4621-1001
Natalia A. Pimanova <sup>1</sup>	<a href="mailto:chem-sem@ya.ru">chem-sem@ya.ru</a>	 0000-0003-1284-8765

<sup>1</sup> Institute of Food Technologies and Design – branch of the Nizhny Novgorod state university of engineering and economics, str. Gornaya, 13, Nizhny Novgorod, 603062, Russia

<sup>2</sup> Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after Kozma Minin, str. Ulyanova, 1, Nizhny Novgorod, 603000, Russia

### Для цитирования

Алексеева Т.В., Назарова Н.Е., Орлова А.И., Давыдова Ю.А., Новик И.Р., Пиманова Н.А. Пищевая композиция для алиментарной коррекции пищевых рационов детей подросткового возраста // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 59–68. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-59-68

### For citation

Alekseeva T.V., Nazarova N.E., Orlova A.I., Davydova Ju.Y., Novik I.R., Pimanova N.A. Research of consumer preferences in the production of bioactive pates for nutrition of pregnant women. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 59–68. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-59-68

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

**Abstract.** The article discusses the issues of the need to create and demand in the consumer market of commodity product lines for adolescents. The authors propose the composition of the food system for the enrichment of snack products for teenagers. As components of the food system, the following were chosen: wheat germ cake, whey protein concentrate, food chickpeas and Japanese kelp powder. The selected types of domestic raw materials have a high biopotential, attractive economic characteristics and are very promising in the production of food products for children of the older age group. The protein content in the food system was 47 g per 100 g of product. The use of an enricher in the composition of finished products, with the obtained total protein content, is advisable, since its amount is comparable to the daily norm, which predictably confirms the principles of the functionality of food products. The technological process of production of the food system included the stages of acceptance and preparation of raw materials, dosing and mixing of components, packaging. Based on the data on meeting the daily requirement for nutrients and energy, it can be stated that the content of vitamins A, D, B<sub>7</sub>, selenium, chromium and copper in the FOS was 15% or less. The concentration of vitamins: B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>12</sub>, C, K and minerals - calcium, phosphorus, potassium, sodium, chlorides, molybdenum, fluorine was within 20-50%. At the same time, the content of iron, zinc, magnesium and vitamin E is set to more than 50% or at the level of the average daily requirement, which allows the food system to be included in products as a fortified supplement. The rich vitamin and mineral composition of the fortifier predictably ensures the maintenance of many functions of a rapidly developing adolescent organism, including ensuring the proper functioning of the skeletal system, muscles, heart and brain, the production of enzymes and hormones. The high biological value of the additive suggests the prospect of its use as a protein and vitamin-mineral fortifier in the production of high-carbohydrate confectionery products, in particular snack bars.

**Keywords:** nutrition for children, snack bars, food system, wheat germ cake, whey protein concentrate, chickpeas, kelp powder, biological value

## Введение

Укрепление здоровья подрастающего поколения путем формирования системы мотивации детей к здоровому образу жизни, корректировки состава пищевых рационов считается приоритетной задачей мировой государственной политики, что предполагает наращивание производства продуктов питания специальной направленности. По данным различных источников в России около 80% подростков имеют алиментарно-зависимые заболевания, процент которых может быть существенно снижен за счет совершенствования системы организации питания, создания новых ассортиментных продуктовых линеек направленного действия для алиментарной коррекции повседневных рационов на принципах здоровьесбережения. Особым вниманием у подростков пользуется пищевая продукция в виде снеков. За рубежом присутствует достаточный выбор снековых продуктовых линеек различной направленности. На продовольственном рынке в России аналогичная товарная продукция представлена в недостаточной степени и научные исследования в этом направлении весьма актуальны, целью которых, в частности, является разработка товарных линеек снековых батончиков для детей подросткового возраста [1–8].

## Материалы и методы

Объектами исследований выступали жмых зародышей пшеницы (ТУ 9295–014–18062042–06 «Мука зародышей пшеницы пищевого назначения «ВИТАЗАР»), производимый ООО «ТОНЕКС» (г. Белгород, Россия); концентрат сывороточного белка (КСБ 80%) по ТУ 9229–008–86526272–2014 «Концентраты сухие белковые, с маркировкой КСБ ТМ», производимый ООО «ТАГРИС МОЛОКО» (г. Вязьма, Смоленская область, Россия); нут продовольственный I типа по ГОСТ 8758–76 «Нут. Требования при заготовках и поставках»,

производимый ООО «Центральная крупяная компания», (пос. Воля, Мценский район, Орловская область, Россия); порошок ламинарии японской, соответствующий ТУ 03.11.63–002–89213220–2019 «Пищевая рыбная продукция: водоросли сушеные и изделия из них. Технические условия», производимые ООО «Биоторг», (г. Корсаков, Южно-Сахалинская обл., Россия). Аминокислотный состав по ГОСТ 32195–2013 (триптофан – по ГОСТ 32201–2013). Аминокислотную сбалансированность и биологическую ценность определяли по методу академика Липатова Н.Н. мл. (Липатов и др., 1987, 1996). Органолептические показатели по ГОСТ 5897–90, ГОСТ 10967–2019, ГОСТ 29245–91. Массовую долю белка по ГОСТ Р 53951–2010, азота и сырого протеина по ГОСТ 13496.4–2019. Массовую долю жира по ГОСТ 31902–2012, сырого жира по ГОСТ 13496.15–2016. Состав жирных кислот по ГОСТ 31663–2012; Массовую долю углеводов по ГОСТ Р 51636–2000; крахмала по ГОСТ ISO 6493–2015, пищевых волокон по ГОСТ Р 54014–2010; сырой клетчатки по ГОСТ 31675–2012. Трипсинингибирующую активность по ГОСТ 33427–2015. Средний размер частиц по ГОСТ 27560–87. Активную кислотность (pH) исследуемых сред по ГОСТ 26180–84. Перекисное число по ГОСТ 31485–2012 и кислотность по ГОСТ 5898–87. Массовую долю влаги по ГОСТ 30483–97, ГОСТ 5900–2014. Массовую долю золы по ГОСТ Р 51411–99, ГОСТ 5901–2014. Витаминный состав по ГОСТ 29138–91, ГОСТ 29139–91, ГОСТ 32043–2012, ГОСТ 7047–55, ГОСТ 52147–2003. Минеральный состав по ГОСТ 32343–2013, ГОСТ 26657–97, ГОСТ 26570–85, ГОСТ 31660–2012, ГОСТ 2082.3–81, ГОСТ 31707–2012, ГОСТ EN 14083–2013. Микробиологические и токсикологические показатели в соответствии с правилами ЕС: ЕС853/2004 и техническими регламентами Таможенного союза ТС021/2011, ТС022/2011, ТС029/2012, ТС038/2013.

Отбор и подготовка проб для микробиологических испытаний по ГОСТ 26669–85. Определение значений КМАФАнМ по ГОСТ 10444.15–94, ГОСТ ISO 7218–2015; наличие дрожжей, плесневых грибов по ГОСТ 10444.12–2013; протей по ГОСТ 28560–90; БГКП (колиформ) по ГОСТ 31747–2012; патогенных, в том числе бактерий рода *Salmonella* по ГОСТ 31659–2012. Содержание токсичных элементов: кадмия по ГОСТ 26933–86, свинца по ГОСТ 26932–86, мышьяка по ГОСТ 26930–86; ртути по ГОСТ 26927–86. Применяемое сырье соответствовало всем требованиям действующей нормативной или технической документации, по показателям значений безопасности – ТР ТС 021/2011, 2012 [9].

### Результаты и обсуждение

На сегодняшний день штучная продукция, предназначенная для быстрого перекуса весьма популярна среди детей подросткового возраста. Вместе с тем, нутриентный состав основной массы таких изделий, в частности снеков, не соответствует физиологическим потребностям юношей и девушек. Эти виды товарной продукции требуют включения обогачителей направленного действия в зависимости от конкретных потребностей потенциальных покупателей.

Нами была произведена разработка компонентного состава и этапов подготовки пищевой обогащающей системы (ПОС) с учетом прогнозируемых потребительских свойств как самой добавки, так и готовой продукции с ее включением. В качестве компонентов ПОС были выбраны: жмых зародышей пшеницы (ЖЗП), концентрат сывороточного белка (КСБ), нут продовольственный 1-ого типа и порошок ламинарии японской. Выбранные виды отечественного сырья обладают высоким биопотенциалом, привлекательными экономическими характеристиками и весьма перспективны при производстве пищевой продукции для детей старшей возрастной группы.

ЖЗП может рассматриваться в качестве источника растительного белка (33–39%), также в его составе присутствуют полиненасыщенные жирные кислоты, поликозанола, более 20 минералов (Ca, Mn, P, Zn, Fe, Se, витамины (A, D, E, гр. B) и пищевые волокна. ЖЗП представляет собой безопасный, доступный по цене, вторичный продукт, получаемый на отечественных производствах, включающий в свой состав эссенциальные вещества, которые необходимы для здорового развития и поддержания человеческого организма, находящегося на стадии пубертатного и постпубертатного периода. Основной плюс включения КСБ в ПОС состоит в высоком содержании

полноценного животного протеина (80%), содержащего все 8 незаменимых аминокислот. Вместе с тем в составе КСБ присутствует восемь витаминов (витами С, тиамин, рибофлавин, ниацин, пантотеновая кислота, пиридоксин, кобаламины, кальциферол) и 7 видов наиболее значимых для подростков минеральных веществ (кальций, фосфор, магний, калий, натрий, железо, цинк). Применение ламинарии японской в составе пищевых продуктов для питания подростков является перспективным алиментарным способом лечения и профилактики йододефицита и других заболеваний, связанных с витаминной или минеральной недостаточностью. Включение в рацион водорослей комбу практикуется при лечении анемии у детей и подростков, болезней пищеварительной системы и запоров. Ламинария способствует выведению из кишечника продуктов метаболизма, нормализуя его микрофлору, нейтрализует действие патогенных микроорганизмов. Благодаря бактерицидным свойствам ламинарии организм активнее справляется с вирусами и бактериями, поэтому ее потребление особенно рекомендовано в сезон простуд. Нут является ценным источником углеводов и растительного белка. Он имеет множество потенциальных преимуществ для питания подростков. В сочетании с другими растительными компонентами (например, ЖЗП) он оказывает благотворное влияние на сердечно-сосудистую систему, является профилактикой диабета 2 типа, акне, заболеваний пищеварительной системы. Кроме того, употребление нута в пубертатный период способствует наращиванию мышечной массы, укреплению костных и хрящевых тканей [6, 10].

Однако, семена нута, как и большинство бобовых, обладают антипитательными свойствами. Нут содержит в своем составе ингибиторы протеиназ, подавляющие активность протеолитических ферментов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), тем самым снижая степень усвоения белков – поскольку при попадании вместе с бобовыми в желудок ингибиторов трипсина отмечается снижение качества гидролиза белковой фракции пищи. Для снижения антипитательных свойств нутевого сырья в нашей работе было принято решение пойти по пути проращивания его семян. Для определения оптимального способа проращивания был проведен предварительный эксперимент: семена нута проращивали по известной методике в трех разных жидкостях: воде, молочной сыворотке и кефире (жирностью 1,5%) до длины ростка не более 0,2–0,5 см. Примечательно, что проращивание семян в воде заняло 12 часов после набухания, в сыворотке 18 часов,

а в кефире 26 часов. Пророщенный нут сушили до влажности 11–14%. Доля сырого протеина в сухом веществе пророщенных образцов составила для водной среды – 25,0%, для сыворотки – 25,0%, для кефира – 24,7%. Массовая доля жира в образцах составила 16,0, 15,8, 16,4% соответственно. Наибольшее содержание крахмала отмечено в образце 1 (вода) – 41%. Поскольку вода не является растворителем крахмала значение остается таким же как в нативном состоянии. В семенах нута, пророщенных

в сыворотке (33,4%) и кефире (35,8%) некоторая часть крахмала расщепляется под действием кислотного гидролиза с образованием молекул глюкозы. Аминокислотный состав пророщенных образцов превосходит аналогичные показатели нативной формы (таблица 1).

С целью выбора оптимального способа проращивания нута и возможности его комбинирования с привычными продуктами питания была проведена органолептическая оценка полученных образцов (таблица 2).

Таблица 1.

Массовые доли аминокислот в опытных образцах нута

Table 1.

The content of amino acids in experimental samples of chickpeas

Аминокислота Amino acid	Массовая доля в сухом веществе, %/ Content in dry matter			
	Контроль (нативные) Control (native)	Образец 1 (вода) Sample 1 (water)	Образец 2 (сыворотка) Sample 2 (serum)	Образец 3 (кефир) Sample 3 (curdled milk)
Валин   Valine	0,80	1,11	1,12	1,10
Изолейцин   Isoleucine	1,04	1,11	1,11	1,11
Лейцин   Leucine	1,73	1,95	1,94	1,94
Лизин   Lysine	1,59	1,74	1,70	1,64
Метионин   Methionine	0,03	0,30	0,34	0,34
Цистеин   Cysteine	0,19	0,23	0,21	0,23
Фенилаланин   Phenylalanine	0,73	1,54	1,54	1,52
Тирозин   Tyrosine	0,34	0,72	0,74	0,74
Треонин   Threonine	0,82	0,94	0,96	0,94
Триптофан   Tryptophan	0,11	0,13	0,13	0,13
Серин   Serine	1,03	1,33	1,34	1,32
Аспаргиновая кислота + аспаргин   Aspartic acid + aspartic acid	2,42	2,99	2,95	2,92
Глутаминовая кислота + глутамин   Glutamic acid + glutamine	3,60	4,42	4,49	4,36
Глицин   Glycine	0,85	1,00	1,00	0,99
Аланин   Alanine	0,88	1,08	1,10	1,07
Гистидин   Histidine	0,57	0,67	0,68	0,67
Пролин   Proline	0,85	1,07	1,1	1,12
Аргенин   Arginine	1,93	2,18	2,17	2,08

Таблица 2.

Органолептические свойства пророщенного нута

Table 2.

Organoleptic properties of sprouted chickpeas

Показатель Value	Характеристика   Characteristic		
	Образец 1 (вода) Sample 1 (water)	Образец 2 (сыворотка) Sample 2 (serum)	Образец 3 (кефир) Sample 3 (curdled milk)
Внешний вид   Appearance	Зерно пророщенное, сухое		
Цвет   Colour	Желтый, чистый Yellow, clear	От желтого до серо-желтого Yellow to greyish yellow	Серо-желтый Greyish yellow
Вкус   Flavour	Нейтральный, чистый	Кисловатый   Acidic	
Запах   Aroma	Нейтральный, чистый	Кислый   Sour	

Исходя их полученных результатов было принято решение о выборе в качестве раствора для проращивания семян нута водопроводной воды. Данный выбор связан с рядом технологических и экономических факторов: органолептическими свойствами, скоростью прорастания, массовой долей сырого протеина, аминокислотным профилем, стоимостью сырья. Основной этап работы по проращиванию семян нута проводили

следующим образом. В начале семена нута промывали, затем оставляли набухать в водной среде на протяжении 24 ч, после чего проращивали в водопроводной воде в течение 12 ч при температуре  $19 \pm 1$  °C. В экспериментальных исследованиях использовали проклюнувшиеся зерновки нута с длиной ростка не более 0,2–0,5 см. В соответствии с литературными источниками, коррелирующими с результатами полученных



нами экспериментальных исследований, при такой длине ростка не отмечается снижения биологической ценности семян. В процессе эксперимента выяснено, что содержание ингибиторов трипсина в нативных семенах нута было на уровне 5,28 мг/г (в мг массы трипсина, ингибируемого к массе навески пробы). Далее установлено, что в процессе биоактивации содержание ингибиторов трипсина уменьшилось до значения 1,34 мг/г. Выявлено, что при набухании нутевого зерна в течение 12 ч трипсинингибирующая активность (ТИА) уменьшилась на 25,95%, по прошествии 24 ч – на 42,80%, а при дальнейшем проращивании на 74,62%. После биоактивации емкости с пророщенным зерном помещали в универсальную пароконвекционную печь «Рациональ», с предварительно установленным режимом «Сухой жар» (с мощностью конвекции воздуха 0,09 кВт, при температуре 30 °С), проросшие семена нута сушили в течение 15–20 минут до влажности 11–14%. После чего нут измельчали в блендере «Hamilton Beach HBF500-CE» до крупности частиц 0,3–0,5 мм.

Учитывая, что в период бурного развития организм подростка особенно нуждается в полноценных белках животного и растительного происхождения и их гармоничном соотношении, а также принимая во внимание то, что у детей этой возрастной группы часто наблюдается дефицит такого микроэлемента как йод, критерием соотношения элементов в ПОС было выбрано рациональное соотношение животного и растительного белка в пределах 60:40 и наличие йода в ПОС в пределах 412–824 мкг, рекомендуемые МР 2.3.1.0253–21, где приводятся данные о физиологических потребностях в пищевых нутриентах различных групп населения РФ. Приведенные нормы учитываются при планировании и регулировании выпуска пищевой продукции на территории РФ с учетом социально-демографических условий. Кроме того, ими следует руководствоваться при разработке специализированных ассортиментных линеек пищевой продукции для конкретных групп населения в России, в частности для детей подросткового возраста [11]. Выбор оптимального содержания отдельных компонентов ПОС осуществляли посредством разработанного программного модуля в среде QT Creator на языке C++. В качестве метода использовался численный метод сканирования [12–14]. Компонентный состав ПОС показан в таблице 3.

Содержание белка в ПОС составляло 47,29 г. на 100 г. продукта. При этом полученное соотношение животных и растительных белковых фракций находилось на требуемом уровне – 59:41. Последующее применение ПОС в составе готовых изделий, при полученном общем содержании

белка можно считать целесообразным, поскольку их количество сопоставимо с суточной нормой. Что в последующем прогнозируемо подтверждает принципы функциональности пищевой продукции, ограничивающие количество внесения пищевых компонентов в диапазоне 20–50% от суточной потребности организма подростков [11, 14].

Таблица 3.

Состав компонентов пищевой обогащающей системы

Table 3.

The composition of the components of the food enrichment system (FES)

Компонент Component	Содержание, мас. % Content, mass%
Жмых зародышей пшеницы Wheat germ cake	45
Концентрат сывороточного белка Whey protein concentrate	35
Нут   Chickpea	15
Ламинария   Laminaria	5

Технологический процесс производства ПОС включал этапы приёмки и подготовки сырья, дозирования и смешивания компонентов, упаковку. ЖЗП, КСБ, семена нута и порошок ламинарии проходили первичную обработку путем просеивания через сито с диаметром отверстий 6 мм для удаления случайных примесей. Нут подвергается предварительному проращиванию подготовке в соответствии с определенной методикой, приведенной выше. Для приготовления ПОС все подготовленные ингредиенты взвешиваются на весах «ТВЕС ВЭУ 6–1/2-А» и затем ЖЗП, КСБ, муку из пророщенных семян нута и порошок ламинарии помещают в бункер вертикального лопастного смесителя «ВЛС-20», установив мощность 1,5 кВт. Процесс перемешивания занимает 4 минуты (коэффициент вариации не менее 0,8). Далее ПОС расфасовывается в крафт-мешки (параметры: 380x130x245 мм, плотность крафта 120 г./м<sup>2</sup>) по 5 кг, на каждый мешок наклеивается этикетка и они направляются на хранение в условиях холодильной камеры (t = 4–6 °С, при относительной влажности воздуха 75–80%). Физико-химические показатели ПОС приведены в таблице 4. Полученная ПОС обладает благоприятными для включения в состав пищевой продукции органолептическими свойствами: консистенция и внешний вид представлены однородным сыпучим порошком, в котором допускается наличие комочков, легко рассыпающихся при механическом воздействии; цвет светло-соломенный, с белыми вкраплениями; вкус нейтральный, солоноватый, со слабым привкусом водорослей; запах нейтральный, со слабым ароматом морских водорослей.

Таблица 4.  
Физико-химические показатели пищевой  
обогащающей системы (ПОС)

Table 4.  
Physico-chemical parameters  
of the food enrichment system (FES)

Показатель Index	Значение Value
Влажность, %, не более   Moisture, %, max.	6,24
Белок, %, не менее   Protein, %, no less	47,29
Углеводы, %, не менее, в т. ч.: Carbohydrates, %, no less, incl:	34,98
пищевые волокна, %, не менее dietary fibres, %, no less	2,59
Жир, %, не менее   Fat, %, no less	6,74
Зола, %, не более   Ash, %, no more	2,86

Пищевая ценность ПОС с точки зрения качества пищевой продукции представляет собой объект с хорошо сбалансированным соотношением основных питательных элементов с учетом потребности предполагаемого потребителя в пищевых веществах и энергии. Расчеты производили по известным формулам согласно рекомендациям Антиповой Л.В. с применением методов академика Липатова Н.Н. Принимая во внимание экспериментальные данные о массовой доле белка, углеводов, жиров, витаминов и минеральных веществ в ПОС, согласно МР 2.3.1.0253–21 определена возможность удовлетворения среднесуточной потребности организма подростков (15–17 лет) при употреблении 100 г. ПОС. Результаты расчета представлены в таблице 5.

Таблица 5.

Удовлетворение суточной потребности в энергии

Table 5.

Meeting the daily requirement energy needs

Показатель Index	Рекомендуемое значение Recommended value		Удовлетворение суточной потребности при потреблении 100 г. ПОС, % Satisfaction of the daily requirement with the consumption of 100 g of the FES		Содержание в 100 г. ПОС Content in 100 g of the FES
	Юноши Male	Девушки Female	Юноши Male	Девушки Female	
Энергия (ккал)   Energy (kcal)	2900	2500	12,04	13,97	373,34
Белки, г, в т. ч.   Protein, g, incl.	87	75	54,34	63,04	47,29
животные, г   animal, g	52,2	45	53,57	62,14	27,97
растительные, г   vegetable, g	34,8	30	55,50	64,38	19,32
Жиры, г, в т. ч.   Fats, g, incl.	97	83	6,95	8,12	6,74
ω-6, г	4,85–7,76	4,15–6,64	24,98–39,97	29,20–46,72	1,97925
ω-3, г	0,97–1,94	0,83–1,66	28,89–57,78	33,77–67,53	0,58435
холестерин, мг   cholesterol, g	<300	<300	5,33	5,33	16,00
Углеводы, г, в т. ч.   Carbohydrates, g, incl.	421	363	7,34	8,51	34,98
Пищевые волокна, г   Dietary fibres, g	20	22	12,95	11,77	2,59

Витаминный состав ПОС (таблица 6) весьма разнообразен и направлен на сохранение физической и умственной активности, поддержание здорового обмена веществ, укрепление иммунной системы, развитие костной и мышечной тканей детей подросткового возраста. Из таблицы 6 видно, что разработанная ПОС отличается высоким содержанием токоферола и аскорбиновой кислоты, обеспечивающих защиту клеток от окислительного стресса; филлохинона, нормализующего свертываемость крови;

витаминов группы В – пантотеновой кислоты, тиамина и рибофлавина, способствующих нормализации энергетического обмена; адрермина и ниацина, отвечающих за нормальное функционирование нервной системы; кобаламинов, нормализующих состав крови; фолатов, играющих важную роль в репродуктивных процессах.

Минеральный состав ПОС и степень удовлетворения суточной потребности приведены в таблице 7.

Таблица 6.

Удовлетворение суточной потребности в витаминах

Table 6.

Meeting the daily requirement for vitamins

Витамин, мг Vitamin, mg	Рекомендуемое значение Recommended meaning		Удовлетворение суточной потребности при потреблении 100 г. ПОС, % Satisfaction of the daily requirement with the consumption of 100 g of the FES		Содержание в 100 г. ПОС Content in 100 g of the FES
	Юноши Male	Девушки Female	Юноши Male	Девушки Female	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
С	90,0	70,0	17,75	22,82	15,98
В <sub>1</sub>	1,5	1,3	138,27	159,54	2,07
В <sub>2</sub>	1,8	1,5	29,60	35,52	0,53
В <sub>6</sub>	2,0	1,6	37,31	46,64	0,75
В <sub>3</sub>	20,0	18,0	26,54	29,49	5,31

Продолжение таблицы 6 | Continuation of table 6

1	2	3	4	5	6
B <sub>12</sub>	0,003	0,003	42,36	42,36	1,27
B <sub>9</sub>	0,4	0,4	23,97	23,97	95,88
B <sub>5</sub>	5,0	4,0	182,76	228,45	9,14
B <sub>7</sub>	50,0	50,0	2,38	2,38	1,19
A	1,0	0,8	0,23	0,29	2,32
E	15,0	15,0	93,07	93,07	13,96
D	0,015	0,015	6,87	6,87	1,03
K	0,12	0,12	22,44	26,93	26,93

Таблица 7.

Удовлетворение суточной потребности в минералах

Table 7.

Meeting the daily requirement for minerals

Содержание, мг Content, mg	Рекомендуемое значение Recommended value		Удовлетворение суточной потребности при потреблении 100 г. ПОС, % Satisfaction of the daily requirement with the consumption of 100 g of the FES		Содержание в 100 г. ПОС Content in 100 g of the FES
	Юноши   Male	Девушки   Female	Юноши   Male	Девушки   Female	
Кальций   Calcium	1200,0	1200,0	47,40	47,40	568,77
Фосфор   Phosphorus	900,0	900,0	30,16	30,16	271,46
Магний   Magnesium	300,0	400,0	116,73	87,55	350,2
Калий   Potassium	2500,0	3200,0	47,16	36,84	1178,95
Натрий   Sodium	1100,0	1300,0	24,50	20,73	269,52
Хлориды   Chlorides	1900,0	2300,0	22,16	18,31	421,05
Железо   Iron	15,0	18,0	68,28	56,90	10,24
Цинк   Zinc	12,0	12,0	100,57	100,57	12,07
Йод   Iodine	0,13	0,15	368,97	319,77	479,66
Медь   Copper	0,8	1,0	18,58	14,86	148,63
Марганец   Manganese	2,0	3,0	241,88	161,25	4,84
Молибден   Molybdenum	0,045	0,065	26,42	18,29	11,89
Селен   Selenium	0,040	0,050	11,23	8,97	4,49
Хром   Chromium	0,025	0,035	0,76	0,54	0,19
Фтор   Fluorine	0,28	0,32	48,31	42,28	135,28

Из таблицы 7 следует, что ПОС обладает исключительным минеральным составом. Отмечается высокое содержание йода, поддерживающего нормальное состояние щитовидной железы и тиреоидных гормонов; марганца, участвующего в синтезе тканей и половых гормонов; цинка, способствующего нормализации кислотно-щелочного баланса; магния, способствующего нормальному функционированию мышц, включая сердечную мышцу; железа, нормализующего синтез гемоглобина и миоглобина; кальция, обеспечивающего нормальное состояния костей; калия, поддерживающего нормальное кровяное давление; молибдена, являющегося кофактором ряда ферментов, отвечающих за метаболизм аминокислот.

Исходя из данных удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах и энергии можно констатировать, что содержание в ПОС витаминов А, D, В<sub>7</sub>, селена, хрома и меди имело уровень 15% и менее, что согласовывается с общими принципам обогащения пищевой продукции. Концентрация витаминов: В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>9</sub>, В<sub>12</sub>, С, К и минеральных веществ – кальция, фосфора, калия, натрия, хлоридов, молибдена, фтора находилась в рамках 20–50%, что свидетельствует о функциональности ПОС. При этом содержание железа, цинка, магния и витамина Е установлено более 50% или на уровне средней суточной потребности, что позволяет включать ПОС в изделия как витаминизированную добавку.

Массовая доля йода, марганца, витаминов В<sub>1</sub> и В<sub>5</sub> превышает суточную потребность, что необходимо учитывать при проектировании рецептур и технологий снековых батончиков для питания детей подросткового возраста.

Общеизвестно, что важным критерием ценности пищевых объектов считается содержание белковой фракции. Она представляет собой азотсодержащие вещества, образующиеся из аминокислот (АК), которые служат основным структурным компонентом мышц и других тканей тела, что является очень важным критерием для растущего организма детей в подростковом возрасте. Кроме того, белки используются для выработки гормонов, ферментов и гемоглобина, которые существенно влияют на состояние подростка в период бурного роста и развития всех систем жизнеобеспечения. Существенным критерием оценки пищевых объектов считается показатель биологической ценности (БЦ), который характеризует степень усвоения белкового азота. Показатель БЦ напрямую коррелирует с наличием незаменимых АК. Большинство животных белков имеют высокую биологическую ценность. Растительные протеины, наоборот, имеют недостаток таких незаменимых АК (лизин, треонин). Поэтому в пищевой продукции важно соотношение животных и растительных белков, находящихся в рациональном соотношении в ПОС, как было ранее установлено.

БЦ также зависит от сбалансированности аминокислот и их способности усваиваться, поэтому на следующем этапе работы проводили экспериментальные исследования по определению в ПОС состава АК, их скоров и расчета показателей биологической эффективности (таблицы 8–9). Анализ содержания незаменимых аминокислот и показателей их сбалансированности позволил выдвинуть предположение о том, что внесение ПОС в состав продуктов на основе растительного сырья позволит достичь большей степени сбалансированности их белкового состава.

Таблица 8.  
Содержание незаменимых аминокислот  
в пищевой обогащающей системе (ПОС)

Table 8.  
Content of essential amino acids of the food  
enrichment system (FES)

Аминокислота Amino acid	Содержание аминокислот в 100 г. белка ПОС (мг/100 г.) и их СКОР (%) The content of amino acids in 100 g protein of the FES (mg/100 g) and their SCOR
Валин   Valine	31,02 (62,04)
Изолейцин   Isoleucine	34,50 (86,25)
Лейцин   Leucine	64,91 (92,73)
Лизин   Lysine	31,77 (57,76)
Метионин + цистин Methionine + cystine	15,55 (44,42)
Фенилаланин + тирозин Phenylalanine + tyrosine	45,04 (75,07)
Треонин   Threonine	29,84 (74,60)
Триптофан   Tryptophan	4,23 (42,30)

Таблица 9.  
Показатели биологической ценности пищевой  
обогащающей системы (ПОС)

Table 9.  
Indicators of biological value  
of the food enrichment system (FES)

Показатель Index	Значение Value
Коэффициент различия аминокислотного сбора (КРАС), % Amino Acid Scores Difference Ratio (CAS), %	24,60
Биологическая ценность (БЦ), % Biological value (BC), %	75,40
Показатель сопоставимой избыточности, % Comparable Redundancy Ratio, %	2,99
Коэффициент утилитарности Utility factor	0,59

Поскольку животные и растительные белки имеют различную степень усвоения организмом (93–96% – животные и 62–80% – растительные). Имея в составе ПОС (от общей массы) 27,97% белков растительного происхождения и 19,32% животного белка, был получен показатель биологической ценности равный 75,40%, что свидетельствует о небольшой величине избытка аминокислотного сбора (24,60%) и высоком биопотенциале данной системы [11, 15, 16–20].

Установлена высокая биологическая ценность добавки, позволяющая предположить перспективность ее применения в качестве белкового и витаминно-минерального обогатителя в производстве высокоуглеводных кондитерских изделий, в частности снековых батончиков.

### Заключение

С применением математических методов был подобран и оптимизирован состав ПОС для обогащения снековой продукции для подростков. ПОС включает в свой состав недорогие, отечественные сырьевые источники, обладает высокой технологичностью и биопотенциалом. Она характеризуется нейтральным запахом и вкусом, имеет светло-желтый цвет, что позволяет ее вносить в пищевые системы без потери их традиционных органолептических показателей. При этом ПОС обладает хорошей сыпучестью (что позволяет ее легко перемещать разными видами транспортных систем в условиях производства) и относительно длительными сроками хранения, что раскрывает широкие возможности применения этого вида сырья на предприятиях пищевой промышленности. Богатый витаминно-минеральный состав ПОС прогнозируемо обеспечивает поддержание множества функций интенсивно развивающегося организма подростка, включая обеспечение правильной работы костной системы, мышц, сердца и мозга, выработку ферментов и гормонов. Установлена высокая биологическая ценность добавки, позволяющая предположить перспективность ее применения в качестве белкового и витаминно-минерального обогатителя в производстве высокоуглеводных кондитерских изделий, в частности снековых батончиков для лиц подросткового возраста.

### Литература

- 1 Антипова Л.В., Родионова Н.С., Попов Е.С. Тенденции развития научных основ проектирования пищевых продуктов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 1. С. 8–11.
- 2 Артемова Е.Н., Владимиров О.Г. Организация торговой деятельности на предприятиях общественного питания. Орел: ОрелГТУ, 2009. 111 с.
- 3 Belokurov S.V., Rodionova N.S., Belokurova E.V., Alexeeva T.V. Modeling of process of lifting power change of baker's yeast pressed depending on nature and quantity of introduced vegetable component // Journal of Physics: International Conference Information Technologies in Business and Industry. 2018. P. 1–4.
- 4 Ponomaryova E.I., Lukina S.V., Magomedov M.G. Production technology of functional bakery products // European Journal of Natural History. 2015. № 6. P. 59–73.

- 5 Cheremushkina I. V., Ryazanov A. N., Samokhvalov A. A. Biotech Cluster as a criterion of food security formation // *Integration and Clustering for Sustainable Economic Growth*. 2017. P. 159-166. doi: 10.1007/978-3-319-45462-7\_18
- 6 Алексеева Т.В., Попов Е.С., Албычева Л.А. Исследование потребительских предпочтений при производстве снэковых батончиков для школьного питания // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2021. № 6 (71). С. 101–108.
- 7 Распоряжение Правительства Российской Федерации «Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года» от 25 октября 2010 г. № 1873-р. URL: <http://www.rg.ru>
- 8 Vasilenko I.N., Cheremushkina I.V., Slepokurova Y.I. More Efficient daily industry in the face of market volatility and risks // *Proceedings of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. P. 062053.
- 9 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" № ТР ТС 021/2011. 2012. 242 с.
- 10 Алексеева Т.В., Калгина А.А., Родионов А.А. Исследование реологических свойств пасты на основе жмыха зародышей пшеницы как компонента пищевых систем из животного сырья // *Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология*. 2016. № 4 (19). С. 133–138.
- 11 Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ. Москва: Госсанэпиднадзор РФ, 2021. 41 с.
- 12 Кандзюба С.П., Громов В.Н. Delphi 6/7. Базы данных и приложения. СПб: ООО «ДиаСофт», 2012. 340 с.
- 13 Роб П., Коронел К. Системы баз данных: проектирование, реализация и управление. Санкт-Петербург: BHV, 2010. 450 с.
- 14 ГОСТ Р ИСО 22004–2017. Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Руководство по применению ИСО 22000. Москва: Стандартинформ, 2017. 36 с.
- 15 Алексеева Т.В., Агаева Н.Ю., Калгина Ю.О. Конструирование компонентного состава пищевой композиции для балансирования ПНЖК – состава // *Теория и практика персонализированного питания*. 2019. № 2. С. 75–85.
- 16 Артемова Е.Н., Василенко З.Н. Растительные добавки в технологии пищевых продуктов. Орел: ОрелГТУ, 2004. 244 с.
- 17 Falbe J., Willett W.C., Rosner B., Gortmaker S. L. et al. Longitudinal relations of television, electronic games, and digital versatile discs with changes in diet in adolescents // *The American journal of clinical nutrition*. 2014. V. 100. №. 4. P. 1173-1181. doi: 10.3945/ajcn.114.088500
- 18 Valladolid-Acebes I., Fole A., Martín M., Morales L. et al. Spatial memory impairment and changes in hippocampal morphology are triggered by high-fat diets in adolescent mice. Is there a role of leptin? // *Neurobiology of learning and memory*. 2013. V. 106. P. 18-25. doi: 10.1016/j.nlm.2013.06.012
- 19 Grosso G., Marventano S., Buscemi S., Scuderi A. et al. Factors associated with adherence to the Mediterranean diet among adolescents living in Sicily, Southern Italy // *Nutrients*. 2013. V. 5. №. 12. P. 4908-4923. doi: 10.3390/nu5124908
- 20 Winpenny E.M., van Sluijs E.M., White M., Klepp K.I. et al. Changes in diet through adolescence and early adulthood: longitudinal trajectories and association with key life transitions // *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2018. V. 15. №. 1. P. 1-9. doi: 10.1186/s12966-018-0719-8

## References

- 1 Antipova L.V., Rodionova N.S., Popov E.S. Trends in the development of the scientific basis for food design. News of higher educational institutions. Food technology. 2018. no. 1. pp. 8–11. (in Russian).
- 2 Artemova E.N., Vladimirova O.G. Organization of trading activities at catering establishments. Orel, Orel State Technical University, 2009. 111 p. (in Russian).
- 3 Belokurov S.V., Rodionova N.S., Belokurova E.V., Alexeeva T.V. Modeling of process of lifting power change of baker's yeast pressed depending on nature and quantity of introduced vegetable component. Journal of Physics: International Conference Information Technologies in Business and Industry. 2018. pp. 1–4.
- 4 Ponomaryova, E.I., Lukina S.V., Magomedov M.G. Production technology of functional bakery products. European Journal of Natural History. 2015. no. 6. pp. 59–73.
- 5 Cheremushkina I.V., Ryazanov A.N., Samokhvalov A.A. Biotech Cluster as a criterion of food security formation. Integration and Clustering for Sustainable Economic Growth. 2017. pp. 159-166. doi: 10.1007/978-3-319-45462-7\_18
- 6 Alekseeva T.V., Popov E.S., Albycheva L.A. Study of consumer preferences in the production of snack bars for school meals. Technology and commodity science of innovative food products. 2021. no. 6 (71). pp. 101–108. (in Russian).
- 7 Order of the Government of the Russian Federation «Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of healthy nutrition for the period up to 2020» dated October 25, 2010. №. 1873-r. Available at: <http://www.rg.ru>. (in Russian).
- 8 Vasilenko I.N., Cheremushkina I.V., Slepokurova Y.I. More Efficient daily industry in the face of market volatility and risks. Proceedings of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. pp. 062053.
- 9 Technical Regulations of the Customs Union "On Food Safety" № TR TS 021/2011. 2012. 242 p. (in Russian).
- 10 Alekseeva T.V., Kalgina A.A., Rodionov A.A. Study of the rheological properties of a paste based on wheat germ oil cake as a component of food systems from animal raw materials. Izvestiya VUZov. Applied chemistry and biotechnology. 2016. no. 4 (19). pp. 133–138. (in Russian).
- 11 Guidelines 2.3.1.0253–21. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation. Moscow, State Sanitary Inspection of the Russian Federation, 2021. 41 p. (in Russian).
- 12 Kandzyuba S.P., Gromov V.N. Delphi 6/7. Databases and applications. St. Petersburg, LLC «DiaSoft», 2012. 340 p. (in Russian).
- 13 Rob P., Coronel K. Database systems: design, implementation and management]. St. Petersburg, BHV, 2010. 450 p. (in Russian).

14 GOST R ISO 22004–2017. Food safety management systems. Guidance on the application of ISO 22000. Moscow, Standartinform, 2017. 36 p. (in Russian).

15 Alekseeva T.V., Agaeva N.Y., Kalgina Y.O. The construction of the component composition of the food composition for balancing PUFA – composition. 2019. no. 2. pp. 75–85. (in Russian).

16 Artemova E.N., Vasilenko Z.N. Herbal additives in food technology. Orel, Orel State Technical University, 2004. 244 p. (in Russian).

17 Falbe J., Willett W.C., Rosner B., Gortmaker S. L. et al. Longitudinal relations of television, electronic games, and digital versatile discs with changes in diet in adolescents. The American journal of clinical nutrition. 2014. vol. 100. no. 4. pp. 1173–1181. doi: 10.3945/ajcn.114.088500

18 Valladolid-Acebes I., Fole A., Martín M., Morales L. et al. Spatial memory impairment and changes in hippocampal morphology are triggered by high-fat diets in adolescent mice. Is there a role of leptin? Neurobiology of learning and memory. 2013. vol. 106. pp. 18–25. doi: 10.1016/j.nlm.2013.06.012

19 Grosso G., Marventano S., Buscemi S., Scuderi A. et al. Factors associated with adherence to the Mediterranean diet among adolescents living in Sicily, Southern Italy. Nutrients. 2013. vol. 5. no. 12. pp. 4908–4923. doi: 10.3390/nu5124908

20 Winpenny E.M., van Sluijs E.M., White M., Klepp K.I. et al. Changes in diet through adolescence and early adulthood: longitudinal trajectories and association with key life transitions. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity. 2018. vol. 15. no. 1. pp. 1–9. doi: 10.1186/s12966-018-0719-8

#### Сведения об авторах

**Татьяна В. Алексеева** д.т.н., профессор, кафедра биологии, химии, экологии и методик обучения, Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, ул. Горная, 13, г. Нижний Новгород, 603062, Россия, zyblova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8035-7293>

**Наталья Е. Назарова** к.т.н., заместитель директора по учебной работе, Институт пищевых технологий и дизайна – филиал Нижегородского государственного инженерно-экономического университета, ул. Горная, 13, г. Нижний Новгород, 603062, Россия, nazarova-iptd@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3373-3270>

**Анна И. Орлова** к.э.н., заведующий кафедрой, кафедра технологии общественного питания, Институт пищевых технологий и дизайна – филиал Нижегородского государственного инженерно-экономического университета, ул. Горная, 13, г. Нижний Новгород, 603062, Россия, annasamurina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8708-6537>

**Юлия Ю. Давыдова** к.х.н., заведующий кафедрой, кафедра биологии, химии, экологии и методик обучения, Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, ул. Ульянова, 1, г. Нижний Новгород, 603000, Россия, sovann@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0627-4021>

**Ирина Р. Новик** к.п.н., доцент, кафедра биологии, химии, экологии и методик обучения, Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, ул. Ульянова, 1, г. Нижний Новгород, 603000, Россия, irnovik@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4621-1001>

**Наталья А. Пиманова** доцент, кафедра биологии, химии, экологии и методик обучения, Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина, ул. Ульянова, 1, г. Нижний Новгород, 603000, Россия, chem-sem@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1284-8765>

#### 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

**Tatyana V. Alekseeva** Dr. Sci. (Engin.), professor, biology, chemistry, ecology and teaching methods department, Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after Kozma Minin, str. Ulyanova, 1, Nizhny Novgorod, 603000, Russia, zyblova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8035-7293>

**Natalia E. Nazarova** Cand. Sci. (Engin.), deputy director for academic affairs, Institute of Food Technologies and Design – branch of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, str. Gornaya, 13, Nizhny Novgorod, 603062, Russia, nazarova-iptd@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3373-3270>

**Anna I. Orlova** Cand. Sci. (Econ.), catering technology department, Institute of Food Technologies and Design – branch of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, str. Gornaya, 13, Nizhny Novgorod, 603062, Russia, annasamurina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8708-6537>

**Julia Y. Davydova** Cand. Sci. (Chem.), head of department, biology, chemistry, ecology and teaching methods department, Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after Kozma Minin, str. Ulyanova, 1, Nizhny Novgorod, 603000, Russia, sovann@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0627-4021>

**Irina R. Novik** Cand. Sci. (Ped.), associate professor, biology, chemistry, ecology and teaching methods department, Nizhny Novgorod State Pedagogical University named after Kozma Minin, str. Ulyanova, 1, Nizhny Novgorod, 603000, Russia, irnovik@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4621-1001>

**Natalia A. Pimanova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biology, chemistry, ecology and teaching methods department, Nizhny Novgorod State Pedagogical University, str. Ulyanova, 1, Nizhny Novgorod, 603000, Russia, chem-sem@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1284-8765>

#### 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 18/10/2022	После редакции 10/11/2022	Принята в печать 01/12/2022
Received 18/10/2022	Accepted in revised 10/11/2022	Accepted 01/12/2022

## Сухая белковая смесь для обогащения пищевых рационов на основе мембранных методов переработки вторичного молочного сырья

Ирина А. Глотова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:glotova-irina@ya.ru">glotova-irina@ya.ru</a>	 0000-0002-9991-1183
Григорий С. Тихонов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:tihonoff.greg@gmail.com">tihonoff.greg@gmail.com</a>	 0000-0003-3192-1120
Надежда А. Галочкина	<sup>1</sup>	<a href="mailto:galochkina.na@mail.ru">galochkina.na@mail.ru</a>	 0000-0002-0576-470X
Сергей В. Шахов	<sup>2</sup>	<a href="mailto:s_shahov@mail.ru">s_shahov@mail.ru</a>	 0000-0002-5865-2357





1 Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

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

**Аннотация.** Белковая недостаточность рационов различных детерминированных групп потребителей является серьезной нутрициологической проблемой. Проблема дефицита белка в рационах может быть решена за счет разработки белковых смесей для их обогащения с учетом тенденций персонализированного питания. Переработка молочной сыворотки методами мембранных технологий соответствует концепции Green, Circular, Bio economy. Мембранные технологии позволяют фракционировать различные компоненты молочной сыворотки и получать высокотехнологичные белковые продукты. Цель исследования - разработка базовой рецептуры, оценка органолептических свойств и физико-химических показателей сухой белковой смеси на основе сывороточных белков, полученной на основе мембранных методов. В качестве основного компонента белковой смеси использовали концентрат сывороточного белка УФ КСБ-80. Концентрат и изолят сывороточного белка в соотношении 6:1 составляют основу разработанной белковой смеси. Предложены варианты расширения ассортимента вкусовых добавок для сухих белковых смесей за счет комбинирования традиционных вкусовых добавок «Клубника», «Вишня», «Яблоко», «Ананас», «Дыня». Предусмотрено опционное внесение экстрактов папайи и ананаса на случай снижения активности пищеварительных ферментов, например, у пожилых людей. Технологическая схема получения готового продукта предусматривает сухое двухстадийное смешивание компонентов в соответствии с разработанной нами рецептурой и применение серийно выпускаемого оборудования. Белковая смесь представляет собой сухой порошок и рекомендуется к использованию в жидком виде путем восстановления ее водой, молоком или натуральным соком, например, витграсс. Состав и свойства разработанной сухой белковой смеси исследовали в соответствии с официальными и общепризнанными методиками испытаний. Разработанный продукт соответствует требованиям ТР ТС 021/2012 «О безопасности пищевых продуктов» и может быть рекомендован для повышения адаптационных возможностей потребителей различных возрастных и физиологических групп к физическим и нервно-эмоциональным нагрузкам, в качестве общеукрепляющего компонента рационов питания.

**Ключевые слова:** молочная сыворотка, фортификация, концентрат сывороточного белка, изолят, сывороточный белок, белковая смесь.

## Dry protein mixture for food rations fortification based on membrane methods for processing secondary dairy raw materials

Irina A. Glotova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:glotova-irina@ya.ru">glotova-irina@ya.ru</a>	 0000-0002-9991-1183
Grigoriy S. Tihonov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:tihonoff.greg@gmail.com">tihonoff.greg@gmail.com</a>	 0000-0003-3192-1120
Nadezhda A. Galochkina	<sup>1</sup>	<a href="mailto:galochkina.na@mail.ru">galochkina.na@mail.ru</a>	 0000-0002-0576-470X
Sergey V. Shahov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:s_shahov@mail.ru">s_shahov@mail.ru</a>	 0000-0002-5865-2357

1 Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia

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

**Abstract.** Protein deficiency in the diets of various determined groups of consumers is a serious nutritional problem. The problem of protein deficiency in diets can be solved by developing protein mixtures for their enrichment, taking into account trends in personalized nutrition. Whey processing using membrane technologies corresponds to the concept of Green, Circular, Bio economy. Membrane technologies make it possible to fractionate various whey components and obtain high-tech protein products. The aim of the study is to develop a basic recipe, assess the organoleptic properties and physicochemical characteristics of a dry protein mixture based on whey proteins obtained on the basis of membrane methods. Whey protein concentrate UF WPC - 80 was used as the main component of the protein mixture. Whey protein concentrate and isolate in a 6:1 ratio form the basis of the protein mixture we have developed. We offered options for expanding the range of flavoring additives for dry protein mixtures by combining traditional flavoring additives "Strawberry", "Cherry", "Apple", "Pineapple", "Melon". We have provided an optional addition of papaya and pineapple extracts in case of decreased activity of digestive enzymes, for example, in the elderly people. The technological scheme for obtaining the finished product provides for two-stages dry mixing of the components and the use of commercially available equipment. The protein mixture is a dry powder and is recommended for use in liquid form by restoring it with water, milk or natural juice, for example, veatgrass. We investigated the composition and properties of the developed dry protein mixture in accordance with official and generally recognized test methods. The developed product meets the requirements of TR CU 021/2012 "On food safety" and can be recommended to increase the adaptive capabilities of consumers of various age and physiological groups to physical and neuro-emotional stress, as a fortifying component of diets

**Keywords:** whey, fortification, whey protein concentrate, whey protein isolate, dry protein mixture.

### Для цитирования

Глотова И.А., Тихонов Г., Галочкина Н.А., Шахов С.В. Сухая белковая смесь для обогащения пищевых рационов на основе мембранных методов переработки вторичного молочного сырья // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 69–75. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-69-75

### For citation

Glotova I.A., Tihonov G., Galochkina N.A., Shahov S.V. Dry protein mixture for food rations fortification based on membrane methods for processing secondary dairy raw materials. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 69–75. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-69-75

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



## Introduction

The development of food industry technologies should comply with the concept of Green, Circular, Bio economy, as it is aimed at achieving integrated "economic, environmental and social goals" [1]. Among the enterprises of the food industry, milk processing enterprises attract attention as objects that are potentially hazardous to the environment [2]. It is necessary that they apply effective methods aimed at protecting the environment and rational use of secondary raw materials [3, 4]. The works of a number of authors have shown that membrane technologies make it possible to fractionate various components of whey and obtain high-tech protein products with added value [5]. On the other hand, protein deficiency in the diets of various determined groups of consumers is a serious nutritional problem [6]. Protein deficiency is characterized by a deficiency in the human body of proteins due to their inadequate intake, or a violation of their assimilation and metabolism (Figure 1). The problems of protein deficiency in diets can be solved by

developing protein mixtures for their fortification, considering the trends in personalized nutrition [7]. Thus, the improvement of formulations and technologies of dry protein mixes based on secondary resources of livestock products whey proteins, is an urgent task [8].

The purpose of the study is to develop a basic formulation, evaluate the organoleptic properties and physicochemical characteristics of a dry protein mixture based on whey proteins obtained using membrane methods.

## Materials and methods

When developing the formulation of the dry protein mixture, whey protein concentrate UF WPC 80 produced by Molvest JSC, Kalach was used as the basis. The block diagram of the production of KSB is shown in Figure 2. The conditions and modes of production, the characteristics of the organoleptic and physico-chemical indicators of KSB-UV-80 are presented in Figure 3, tables 1 and 2.

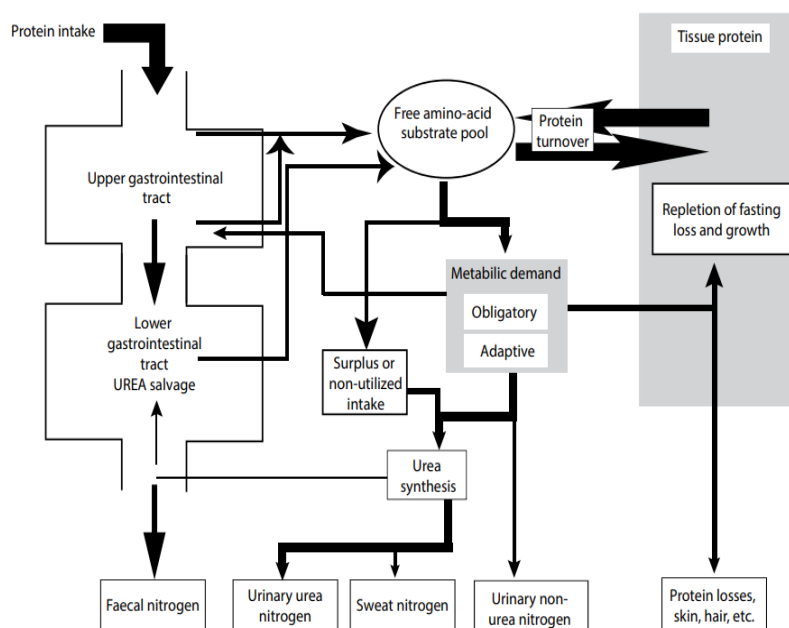


Figure 1. Diagram of amino acid metabolism pathways in the human body, according to Report of an FAO Expert Consultation (Auckland, New Zealand, 31 March – 2 April, 2011)

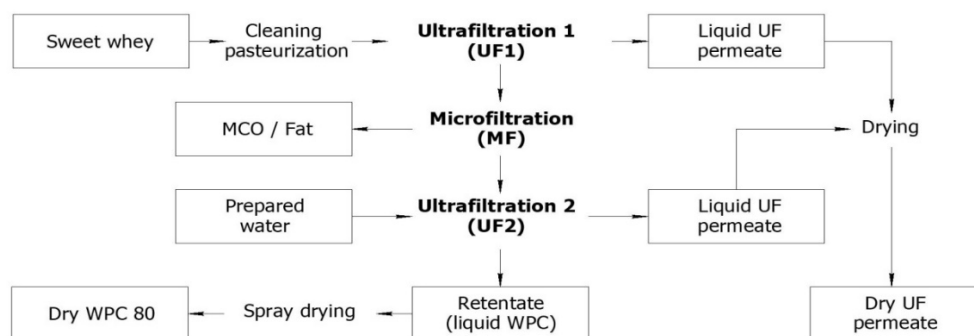


Figure 2. Initial, intermediate and final products in the processing of cheese whey by ultra – and microfiltration methods to obtain dry whey protein concentrate [9]

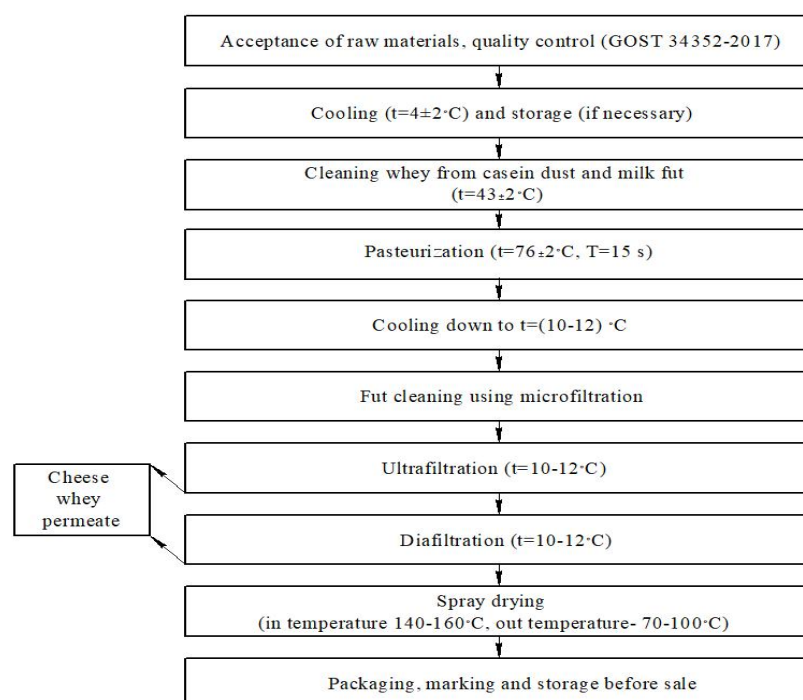


Figure 3. Technological scheme to produce UF whey protein concentrate [10]

Table 2.  
Physical and chemical indicators UF WPC – 80 [11]

Indicator	Value
Mass fraction, %:	
moisture	5,0
protein	≤76,0
protein in DM, %	≥80,0
fat, %	≤8,0
lactose, %	≤9,0
pH	6,1–6,8
Solubility index, cm <sup>3</sup>	<0,3
Purity group	>II
Temperature at discharge, °C	2–20

The composition and properties of the developed dry protein mixture were studied in accordance with official and generally recognized test methods. The mass fraction of moisture was determined according to GOST 15113.4 “Food concentrates. Moisture determination methods”; mass fraction of protein – according to GOST 26889 “Food and flavor products. General guidelines for the determination of nitrogen content by the Kjeldahl method”; mass fraction of fat – according to GOST 15113.9 “Food concentrates. Methods for determination of fat”; mass fraction of carbohydrates – according to GOST R 54667 “Milk and milk processing products. Methods for determining the mass fraction of sugars. The content of lead and cadmium was determined according to GOST 30178 “Raw materials and food products. Atomic absorption method for determination of toxic elements”; arsenic content – according to GOST R 51766 “Atomic absorption method for the determination of arsenic”; mercury content – according to MI 5178–90

Table 1.  
Organoleptic characteristics UF  
WPC – 80 [11]

Characteristic	Characteristic content
Taste and smell	Clean, whey, sweetish, without foreign tastes and odors
form	Fine powder or powder consisting of single and agglomerated particles. A small amount of lumps is allowed, crumbling under light mechanical stress
Colour	White with a cream shade, homogeneous throughout the mass

“Guidelines for the detection and determination of the total mercury content in food products by flameless atomic absorption”.

### The discussion of the results

The solution of the problem of fortification of food rations of various deterministic groups of consumers is the subject of study and discussion by many researchers [12–14].

Scientific research is being carried out aimed at improving prescription-component solutions of specialized products for the nutrition of various deterministic consumer groups, in particular, sports nutrition [15, 16], nutrition for pregnant and lactating women [17], school meals [18].

The issues of nutritional support in the nutrition of people who are unable to combine a rational regime of work and rest due to social deprivation are discussed [19].

The subject of research is the effect of individual products and ingredients on physical fitness, endurance, health status of athletes and people with increased physical activity [16]. However, the problem of nutrition of older and elderly people, in our opinion, has received little attention [20, 21, 22], especially taking into account the criterion of minimizing raw material costs based on the effective use of whey protein components. The solution to this problem is associated with the development of specialized food products, applicable, among other things, for correcting the basic diets of older and older people.

In 2019, the pension system was reformed in Russia, which provides for a gradual increase in the retirement age for women from 55 to 60 and for men from 60 to 65 years. In this regard, there is a strategic task of maintaining the health of the body of the elderly (60–74 years), which implies two directions for its implementation. The first is the promotion of a healthy lifestyle. The second is a healthy diet, taking into account the physiological characteristics of the body.

In the works of other authors scientifically substantiated and experimentally confirmed the feasibility of using milk proteins, vitamin and mineral fortifiers when creating dry mixes intended for the nutrition of the elderly [19, 21, 22]. They showed that the quality, safety and high consumer properties of products should be due to the use of high-protein whey preparations with an optimal amino acid composition.

The closest in composition and properties to the developed product are specialized products for athletes and baby food, the composition of which provides for the use of animal proteins. At the same time, considering collagen and whey proteins as an alternative, it should be emphasized that among all proteins of animal origin, milk whey proteins are the most valuable for the human body due to the rate of their assimilation, which is determined by the amino acid composition of these proteins, which is almost identical to the amino acid composition of human skeletal muscle.

We have developed a basic formulation of a dry protein mixture to ensure the protein status of the human body (Table 3). Whey protein concentrate and isolate in the ratio of 6:1 form the basis of the protein mixture formula developed by us. An important stage in the development of a dry protein mixture for fortifying food rations is the formation of its flavor profile. for which the use of flavors, sweeteners, natural food colors is provided. Options for expanding the range of flavor solutions for dry protein mixtures by combining traditional flavoring additives "Strawberry", "Cherry", "Apple", "Pineapple", "Melon" are proposed. In case of reduced activity of digestive enzymes, for example, in the elderly, the optional addition of papaya and pineapple extracts is provided.

To attract the attention of consumers, satisfy their preferences, the product must have excellent tastes, the originality of which comes down to changing several production parameters – the use of various flavoring additives. So, for example, the usual tastes of "Strawberry", "Cherry", "Apple", "Pineapple" and "Melon" with the addition of a certain amount of flavor additive "Biscuit" can be organoleptically identified as the modern taste of the French confectionery "Macaron", which exists in combined with strawberries, cherries or other

fruit jams. When using "Strawberry" and "Marshmallow" flavors in equal proportion, you can get the taste of "Strawberry Marshmallow", and when using several fruit flavors (VAD) at once, you can get the tastes of "Malibu" and "Tutti-Frutti".

In addition to expanding the range of flavor solutions, due to such techniques in a limited list of dietary supplements, it is possible not only to increase the variety of products, but also to more rationally use the stocks of raw materials in production, increase the originality and recognition of the brand of this group of goods in a competitive environment.

The remaining ingredients of the dry mix formulation can be optionally added, taking into account the physiological characteristics and hedonistic preferences of specific deterministic consumer groups, taking into account the gradation of the daily requirement for proteins of animal origin (g), recommended by the Norms of Physiological Requirements for Energy and Nutrients [23], which, in particular, includes: children from 7 to 18 years; men aged 18–29 years of the II group of physical activity; men aged 18–29 years of group V of physical activity; men over 60; women aged 18–29 years of the II group of physical activity; women during pregnancy, women during the period of feeding a child (1–6 months); women over 60.

The technological scheme for obtaining the finished product provides for two-stages dry mixing of the components in accordance with the recipe developed by us and the use of commercially available equipment (Figure 4).

Whey proteins are characterized by increased solubility, foaming, and emulsifying properties, resulting in a reduced reconstitution process compared to other animal protein sources.

The effectiveness of the product is affected not only by its physical and chemical characteristics, but also by organoleptic properties. This makes it expedient to form a line of products that differ in flavor profile based on the basic variant of the mixture recipe (Table 4).

The physicochemical parameters of the developed dry protein mixture are presented in Table 5, the results of the assessment of the content of toxic elements are in Table 6.

Table 3.

An example of the basic formulation of a dry protein mixture based on whey proteins

Component name	Mass fraction of the component, %
Whey protein concentrate UF WPC – 80	78,000
Whey Protein Isolate	12,800
Flavour intensifiers	8,7000
Sweeteners	0,4800
Food coloring agents	0,0157
Papaya extract (optional)	0,0022
Pineapple extract (optional)	0,0021
TOTAL:	100,0000

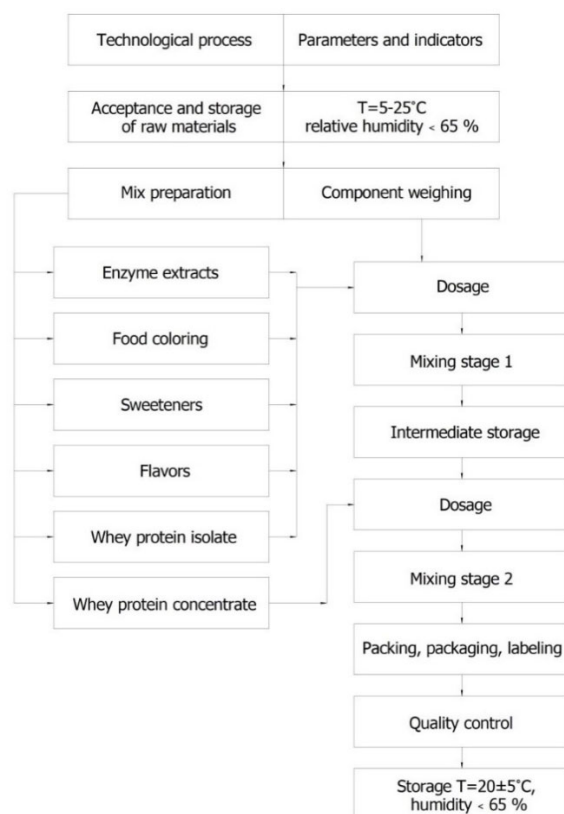


Figure 4. Technological scheme to produce a mixture of protein dry based on whey proteins

Table 4.  
Organoleptic characteristics of dry protein mixture based on whey proteins

Indicator	Index
Form	Fine, homogeneous dry powder. The presence of easily crumbling lumps is allowed with light mechanical stress. Reconstituted – homogeneous solution without sediment
Taste and smell	Clean, with a pleasant aroma and taste, determined by the type of flavoring additives used
Colour	White to light cream. When reconstituted, the color is determined by the colorants and flavors used

Table 5.  
Physicochemical indicators of dry protein mixture based on whey proteins

Indicators	Analysis result	Test methods
Moisture mass content, %	4,7±0,2	Federal standard 15113.4
Protein mass content, %	73,2±0,1	Federal standard 26889
Fat mass content, %	8,2±19	Federal standard 15113.9
Carbohydrates mass content, %	7,7±0,14	Federal standard R 54667

Table 6.  
The content of toxic elements in a mixture of protein dry based on whey proteins

Indicators	Result	Acceptable level	Test methods
Lead, mg/kg	<0.02	<0.3	Federal standard 30178
Arsenic, mg/kg	<0.02	<0.2	Federal standard R 51766
Cadmium, mg/kg	<0.003	<0.05	Federal standard 30178
Mercury, mg/kg	<0.02	≤0.03	MI 5178–90

The protein mixture is a dry powder and is recommended for use in liquid form by reconstitution with water, milk, or natural juice, such as wheatgrass. Its use is promising in the manufacture of puddings, whipped desserts, vegetable, and sweet casseroles.

The developed product complies with the requirements of TR TS 021/2012 "On food safety" and can be recommended to increase the adaptive capabilities of consumers of different age and physiological groups to physical and neuro-emotional stress, as a fortifying component of diets.

### Conclusion

Whey processing using membrane technologies corresponds to the concept of Green, Circular, Bio economy. A basic formulation of a dry protein mixture

based on whey protein concentrate KSB-UV-80 and recommendations for its use, considering nutritional characteristics in determining the daily requirement for proteins for various consumer groups in accordance with the Norms of physiological needs for energy and nutrients, have been developed [23].

The technological scheme for obtaining the finished product provides for dry mixing of the components in accordance with the recipe developed by us and the use of commercially available equipment. Powdered protein powder is a dry powder used for nutrition in liquid form by reconstituting it with water or milk. and can be recommended to ensure the protein status of the human body, including increasing the adaptive capabilities of consumers of different age and physiological groups.

## Литература

- 1 D'Amato D., Droste N., Allen B., Kettunen M. et al. Green, circular, bio economy : A comparative analysis of sustainability avenues // *Journal of Cleaner Production*. 2017. №. 168. P. 716–734. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.053
- 2 Родионов Д.А., Лазарев С.И., Полянский К.К., Эккерт Е.В. Ультрафильтрационное концентрирование молочной сыворотки на pilotной установке трубчатого типа // *Вестник ВГУИТ*. 2019. Т. 81. № 2. С. 41–46. doi:10.20914/2310-1202-2019-2-41-46
- 3 Korysheva N.N., Shakhov S.V., Titov S.A., Tikhonov G.S. et al. Method for milk whey microfiltration with filtrate pulsed backpressure and installation for its implementation // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/938/1/012019.
- 4 Anisimov G., Ryabtseva S., Evdokimov I., Khramtsov A. et al. Effect of electrodialysis on dairy by-products microbiological indicators // *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2019. №. 27. P. 49–57.
- 5 Khramtsov A.G., Ryabtseva S.A., Nesterenko P.G. Paradigm of postgenomic conception on milk science lactomics formation // *Foods and Raw Materials*. 2018. V. 6. № 1. P. 14–22. doi: 10.21603/2308-4057-2018-1-14-22
- 6 Kamau E., Serrem Ch., Wamunga F. Rat bioassay for evaluation of protein quality of soy-fortified complementary foods // *Journal of Food Research*. 2017. № 6(6). P. 35. doi:10.5539/jfr.v6n6p35
- 7 Кочеткова А.А., Воробьева В.М., Саркисян В.А., Воробьева И.С., Смирнова Е.А., Шатнюк Л.Н. Динамика инноваций в технологии производства пищевых продуктов: от специализации к персонализации // *Вопросы питания*. 2020. Т. 89. № 4. С. 233–243.
- 8 Barukcic I. Whey as a Potential Functional Food-Properties, Processing and Future Perspective. // *Journal of Food Biotechnology Research*. 2018. V. 2. №. 1–2. P. 23–32.
- 9 Храмов А.Г. Инновационные разработки в использовании молочной сыворотки // *Техника и технология пищевых производств*. 2018. Т. 48. № 3. С. 5–15. doi: 10.21603/2074-9414-2018-3-5-15
- 10 Bogdanova E.V., Melnikova E.I., Koshevarova I.B. The research of the types of moisture bonds in protein-carbohydrate concentrates of cheese whey // *Periodico Tchê Química*. 2020. V. 17. № 34. P. 33–44.
- 11 СТО ВНИИМС 045–2019. Концентрат сывороточных белков сухой. Технические условия. Углич: Всероссийский научно-исследовательский институт маслоседеления и сыроделия – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения "Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова" РАН (ВНИИМС – филиал ФГБНУ "ФНЦ пищевых систем В.М. Горбатова" РАН), 2019.
- 12 Кочеткова А.А., Воробьева В.М., Саркисян В.А., Воробьева И.С. и др. Динамика инноваций в технологии производства пищевых продуктов: от специализации к персонализации // *Вопросы питания*. 2020. Т. 89. № 4. С. 233–243.
- 13 Ильина О.А., Иунихина В.С., Маслова А.С., Шатнюк Л.Н. Актуальные вопросы разработки обогащенной и специализированной пищевой продукции // *Хлебопродукты*. 2020. № 3. С. 43–45.
- 14 Люблинский С.Л., Ливинская С.А., Сидоренко Ю.И., Ливинский А.А. Характеристика наиболее распространенных дефицитов в структуре питания россиян и обогащающие добавки для целевых пищевых продуктов // *Товаровед продовольственных товаров*. 2020. № 11. С. 47–56.
- 15 Латков Н.Ю., Плешкова Н.А., Подзорова Г.А. Рынок продукции спортивного питания: перспективы развития, потребительские предпочтения // *Экономика и предпринимательство*. 2019. № 5. С. 1263–1268.
- 16 Штерман С.В., Сидоренко М.Ю., Штерман В.С., Сидоренко Ю.И. Современные тенденции развития производства продуктов спортивного питания // *Пищевая промышленность*. 2019. № 1. С. 56–59.
- 17 Swathi M., Waghay K., Babu N., Golla R. Development of malted millet mixes for pregnant women and lactating mothers // *International Journal of Innovative Technology and Research*. 2016. V. 4. № 6. URL: www.ijitr.com/index.php/ojs/article/view/1485
- 18 Тихонов Г.С., Глотова И.А., Измайлов А.Н., Брекало Е.Р. Технология переработки молока с выпуском сухого молокосодержащего продукта // *European Journal of Natural History*. 2021. № 5. С. 29–33.
- 19 Ших Е.В., Махова А.А., Ших Н.В., Никитин Е.Ю. Социальный джетлаг: возможности микронутриентной поддержки // *Вопросы питания*. 2022. Т. 91. № 3 (541). С. 85–95.
- 20 Fukatsu K. Role of nutrition in gastroenterological surgery // *Ann. Gastroenterol. Surg*. 2019. V. 3. № 2. P. 160–168. doi: 10.1002/ags3.12237
- 21 Wobith M., Weimann A. Oral Nutritional Supplements and Enteral Nutrition in Patients with Gastrointestinal Surgery // *Nutrients*. 2021. V. 13. P. 2655. doi: 10.3390/nu13082655
- 22 Барановский А.Ю., Круглова Н.А. Специализированный продукт лечебного питания – белковая композитная сухая смесь, обогащенная кальцием молочного происхождения, в послеоперационной реабилитации больных пожилого и старческого возраста // *Успехи геронтологии*. 2022. Т. 35. № 2. С. 274–280.
- 23 Попова А.Ю., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых (2021) нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // *Вопросы питания*. 2021. Т. 90. № 4 (536). С. 6–19.

## References

- 1 D'Amato D., Droste N., Allen B., Kettunen M. et al. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*. 2017. no. 168. pp. 716–734. doi:10.1016/j.jclepro.2017.09.053
- 2 Rodionov D.A., Lazarev S.I., Polyansky K.K., Eckert E.V. Ultrafiltration concentration of whey in a pilot plant *Proceedings of VSUET*. 2019. vol. 81. no. 2. pp. 41–46. doi:10.20914/2310-1202-2019-2-41-46 (in Russian).
- 3 Korysheva N.N., Shakhov S.V., Titov S.A., Tikhonov G.S. et al. Method for milk whey microfiltration with filtrate pulsed backpressure and installation for its implementation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/938/1/012019.
- 4 Anisimov G., Ryabtseva S., Evdokimov I., Khramtsov A. et al. Effect of electrodialysis on dairy by-products microbiological indicators. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2019. no. 27. pp. 49–57.
- 5 Khramtsov A.G., Ryabtseva S.A., Nesterenko P.G. Paradigm of postgenomic conception on milk science lactomics formation. *Foods and Raw Materials*. 2018. vol. 6. no. 1. pp. 14–22. doi: 10.21603/2308-4057-2018-1-14-22/
- 6 Kamau E., Serrem Ch., Wamunga F. Rat bioassay for evaluation of protein quality of soy-fortified complementary foods. *Journal of Food Research*. 2017. no 6(6). pp. 35. doi:10.5539/jfr.v6n6p35
- 7 Kochetkova A.A., Vorob'eva V.M., Sarkisyan V.A., Vorob'eva I.S. et al. Dynamics of innovations in food production technology: from specialization to personalization. *Problems of nutrition*. 2020. vol. 89. no. 4. pp. 233–243. (in Russian).
- 8 Barukcic I. Whey as a Potential Functional Food-Properties, Processing and Future Perspective. *Journal of Food Biotechnology Research*. 2018. vol. 2. no. 1–2. pp. 23–32.
- 9 Hramcov A.G. Innovative developments in the use of whey. *Technique and technology of food production*. 2018. vol. 48. no. 3. pp. 5–15. doi: 10.21603/2074-9414-2018-3-5-15 (in Russian).



- 10 Bogdanova E.V., Melnikova E.I., Koshevarova I.B. The research of the types of moisture bonds in protein-carbohydrate concentrates of cheese whey. *Periodico Tche Quimica*. 2020. vol. 17. no 34. pp. 33–44.
- 11 SRT VNIIMS 045–2019 Dry whey protein concentrate. Technical conditions. Uglich, All-Russian Research Institute of Butter and Cheese Making – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "V.M. Gorbato Federal Scientific Center for Food Systems" of the Russian Academy of Sciences (VNIIMS – branch of the Federal State Budgetary Research Center for Food Systems V.M. Gorbato" of the Russian Academy of Sciences). 2019.
- 12 Kochetkova A.A., Vorob'eva V.M., Sarkisyan V.A., Vorob'eva I.S. et al. Dynamics of innovations in food production technology: from specialization to personalization. *Problems of nutrition*. 2020. vol. 89. no. 4. pp. 233–243. (in Russian).
- 13 Il'ina O.A., Iunihina V.S., Maslova A.S., Shatnyuk L.N. Topical issues of the development of enriched and specialized food products. *Bread products*. 2020. no. 3. pp. 43–45. (in Russian).
- 14 Lyublinskij S.L., Livinskaya S.A., Sidorenko Yu.I., Livinskij A.A. Characteristics of the most frequent deficiencies in the special nutrition of Russians and enriching food additives. *Merchandise of food products*. 2020. no. 11. pp. 47–56.
- 15 Latkov N.Yu., Pleshkova N.A., Podzorova G.A. Sports nutrition products market: development prospects, consumer preferences. *Economics and entrepreneurship*. 2019. no. 5. pp. 1263–1268. (in Russian).
- 16 Shterman S.V., Sidorenko M.Yu., Shterman V.S., Sidorenko Yu.I. Modern trends in the development of sports nutrition products. *Food industry*. 2019. no. 1. pp. 56–59. (in Russian).
- 17 Swathi M., Waghay K., Babu N., Golla R. Development of malted millet mixes for pregnant women and lactating mothers. *International Journal of Innovative Technology and Research*. 2016. vol. 4. no. 6. Available at: [www.ijitr.com/index.php/ojs/article/view/1485](http://www.ijitr.com/index.php/ojs/article/view/1485)
- 18 Tihonov G.S., Glotova I.A., Izmajlov A.N., Brekalo E.R. Technology of milk processing with the release of a dry milk-containing product. *European Journal of Natural History*. 2021. no. 5. pp. 29–33. (in Russian).
- 19 Shih E.V., Mahova A.A., Shih N.V., Nikitin E.Yu. Social jetlag: opportunities for micronutrient support. *Problems of nutrition*. 2022. vol. 91. no. 3 (541). pp. 85–95. (in Russian).
- 20 Fukatsu K. Role of nutrition in gastroenterological surgery. *Ann. Gastroenterol. Surg*. 2019. vol. 3. no. 2. pp. 160–168. doi: 10.1002/ags3.12237
- 21 Wobith M., Weimann A. Oral Nutritional Supplements and Enteral Nutrition in Patients with Gastrointestinal Surgery. *Nutrients*. 2021. vol. 13. pp. 2655. doi: 10.3390/nu13082655
- 22 Baranovskij A.Yu., Kruglova N.A. A specialized product of therapeutic nutrition is a protein composite dry mixture enriched with calcium of dairy origin in the postoperative rehabilitation of elderly and senile patients. *Successes of Gerontology*. 2022. vol. 35. no. 2. pp. 274–280. (in Russian).
- 23 Popova A.Yu., Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. About new (2021) norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. *Problems of nutrition*. 2021. vol. 90. no. 4 (536). pp. 6–19. (in Russian).

#### Сведения об авторах

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

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

**Григорий С. Тихонов** аспирант, кафедра технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, [tihonoff.greg@gmail.com](mailto:tihonoff.greg@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-3192-1120>

**Надежда А. Галочкина** к.т.н., доцент, кафедра товароведения и экспертизы товаров, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, [galochkina.na@mail.ru](mailto:galochkina.na@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-0576-470X>

**Сергей В. Шахов** д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [s\\_shahov@mail.ru](mailto:s_shahov@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-5865-2357>

#### Вклад авторов

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

**Григорий С. Тихонов** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

**Надежда А. Галочкина** консультация в ходе исследования, технический редактор

**Сергей В. Шахов** консультация в ходе исследования

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Irina A. Glotova** Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies of storage and processing of agricultural products department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, [glotova-irina@ya.ru](mailto:glotova-irina@ya.ru)

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

**Grigoriy S. Tihonov** graduate student, technologies of storage and processing of agricultural products department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, [tihonoff.greg@gmail.com](mailto:tihonoff.greg@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-3192-1120>

**Nadezhda A. Galochkina** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, merchandizing technique and commodity expertise department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia, [galochkina.na@mail.ru](mailto:galochkina.na@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-0576-470X>

**Sergej V. Shahov** Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and apparatus of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [s\\_shahov@mail.ru](mailto:s_shahov@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-5865-2357>

#### Contribution

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

**Grigoriy S. Tihonov** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Nadezhda A. Galochkina** consultation during the study



**Sergej V. Shahov** consultation during the study

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 26/09/2022	После редакции 12/10/2022	Принята в печать 12/11/2022
Received 26/09/2022	Accepted in revised 12/10/2022	Accepted 12/11/2022

## Переработка побочных продуктов спиртового производства с получением изобутилового спирта



Наталья В. Зуева<sup>1</sup> [nataspirit30@ya.ru](mailto:nataspirit30@ya.ru)  0000-0003-2840-398X  
Сергей А. Веретенников<sup>1</sup> [voron456@mail.ru](mailto:voron456@mail.ru)  
Инна В. Новикова<sup>1</sup> [noviv@list.ru](mailto:noviv@list.ru)  0000-0002-2360-5892

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

**Аннотация.** Во всех развитых странах ведутся интенсивные исследования по созданию экономичного процесса производства бутанола и его производных из биомассы, обеспечивающего снижение себестоимости продукта по сравнению с существующими процессами получения синтетического бутанола на основе ископаемого сырья. Это связано, прежде всего, с перспективами использования бутанола и его производных в качестве альтернативного топлива. В работе предложена технология получения изобутилового спирта, предусматривающая переработку побочных продуктов спиртового производства путем гидрогенизации кротональдегида. В качестве объектов исследования использовали концентрат головных фракций этилового спирта (КГФ) и концентрат головных фракций этилового спирта (КГФ). В процессе работы предложена технология переработки побочных продуктов спиртового производства, включающая ряд стадий с получением в качестве готового продукта-изобутилового спирта, который может быть использован в производстве пластмасс, резины, покрытий, медицине и производстве специальных растворителей, а также в качестве добавки к топливу. Проводились экспериментальные исследования по получению изобутанола и изучению его физико-химических свойств: цветность, плотность; массовая доля изобутилового спирта, массовую долю кислот в пересчете на уксусную кислоту, бромное число, массовая доля карбонильных соединений в пересчете на масляный альдегид, массовая доля нелетучего остатка. Технологический процесс на установке по получению изобутанола дифференцирован по стадиям, которые осуществляются последовательно в отдельных реакторах с обработкой полупродуктов катализаторами. В результате разработанной технологии получен бутаноловый спирт с массовой долей изобутилового спирта не менее 99,3%.

**Ключевые слова:** изобутиловый спирт, биоконверсия побочных продуктов, альтернативное топливо, кротональдегид, катализатор.

## Conversion of by-products of alcohol production to produce isobutanol

Natalia V. Zueva<sup>1</sup> [nataspirit30@ya.ru](mailto:nataspirit30@ya.ru)  0000-0003-2840-398X  
Sergey A. Veretennikov<sup>1</sup> [voron456@mail.ru](mailto:voron456@mail.ru)  
Inna V. Novikova<sup>1</sup> [noviv@list.ru](mailto:noviv@list.ru)  0000-0002-2360-5892

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

**Abstract.** Intensive research is underway in all developed countries to create an economical process for the production of butanol and its derivatives from biomass, which reduces the cost of the product compared to existing processes for producing synthetic butanol based on fossil raw materials. This is primarily due to the prospects of using butanol and its derivatives as an alternative fuel. The paper proposes a technology for the production of isobutyl alcohol, which provides for the processing of by-products of alcohol production by hydrogenation of crotonaldehyde. A concentrate of ethyl alcohol head fractions (KGF) and a concentrate of ethyl alcohol head fractions (KGF) were used as objects of research. In the process of work, a technology for processing by-products of alcohol production is proposed, which includes a number of stages with the production of isobutyl alcohol as a finished product, which can be used in the production of plastics, rubber, coatings, medicine and the production of special solvents, as well as as an additive to fuel. Experimental studies were conducted to obtain isobutanol and study its physicochemical properties: color, density; mass fraction of isobutyl alcohol, mass fraction of acids in terms of acetic acid, bromine number, mass fraction of carbonyl compounds in terms of oil aldehyde, mass fraction of non-volatile residue. The technological process at the isobutanol production plant is differentiated by stages, which are carried out sequentially in separate reactors with the treatment of intermediates with catalysts. As a result of the developed technology, butyl alcohol with a mass fraction of isobutyl alcohol of at least 99.3% was obtained.

**Keywords:** isobutyl alcohol, bioconversion of by-products, alternative fuel, crotonaldehyde, catalyst.

### Введение

В связи с увеличением населения Земли и ростом энергетических потребностей в мире неуклонно растет мировое потребление энергии, что, в свою очередь, неизбежно приводит к увеличению выбросов углекислого газа в атмосферу. Единственной возможностью снизить эмиссию углекислого газа, не ухудшая при этом качество жизни населения, является использование возобновляемых источников энергии.

Мировое производство бутанолового спирта и его производных составляет более 1,5 миллионов тонн в год, причем РФ занимает четвертое место

в списке его производителей. Тем не менее, в настоящее время дефицит бутанола на российском рынке составляет 35–45 тыс. тонн в год, и как прогнозируется, эта цифра будет только расти.

Повышенный спрос на бутилацетат и бутилакрилат, которые вместе составляют более половины потребления бутанола – ключевой драйвер роста рынка бутанола на фоне текущего строительного бума в Азии, США, России и Европе. Возможность получения изобутанола из пищевых отходов и технология получения бутанола из CO<sub>2</sub>, создают перспективы после перехода к экономике замкнутого цикла.

### Для цитирования

Зуева Н.В., Веретенников С.А., Новикова И.В. Переработка побочных продуктов спиртового производства с получением изобутилового спирта // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 76–79. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-76-79

### For citation

Zueva N.V., Veretennikov S.A., Novikova I.V. Conversion of by-products of alcohol production to produce isobutanol. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 76–79. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-76-79

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



Растущий спрос на экологически чистое топливо может ускорить рост рынка изобутанола, поскольку он является высокоэффективным экологически чистым топливом. По сравнению с этанолом, изобутанол выделяет больше энергии в процессе сгорания, он менее летуч и гигроскопичен, а также более удобен с точки зрения хранения и транспортировки. Изобутанол не вызывает коррозии и поэтому может транспортироваться по существующим трубопроводам; его также можно использовать в транспортных средствах в чистом виде или в смеси с другими видами топлива, такими как биодизель.

Использование изобутанола в качестве добавки к бензину поможет решить текущие проблемы, с которыми сталкиваются люди, такие как истощение ископаемых ресурсов и парниковый эффект [1–5, 9].

### Материалы и методы

В качестве сырья в работе использовали побочные продукты, образующиеся при производстве этанола такие как: концентрат головных фракций этилового спирта (КГФ) и концентрат головных примесей этилового спирта (КГП).

– концентрат головных фракций этилового спирта (КГФ) побочный продукт спиртового производства, получаемый при брагоректификации или ректификации, содержащий повышенные концентрации летучих органических примесей;

– концентрат головных примесей (КГП) этилового спирта побочный продукт (отход) спиртового производства, получаемый из головной фракции этилового спирта, содержащий этиловый спирт, альдегиды, эфиры и метанол.

По органолептическим и физико-химическим требованиям КГФ должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 55983–2014.

Согласно ТУ 9182–478–00008064–2002 видимая объемная доля этилового спирта в концентрате головных примесей (КГП) этилового спирта составляет от 70 до 96%, объемная доля – от 40 до 75%.

Изучение физико-химических свойств готового продукта проводили в соответствии с: ГОСТ 14871 – цветность по платиново-кобальтовой шкале, ед. Хазена, не более; ГОСТ 18995.1-плотность при 20 °С, г/см<sup>3</sup>; массовая доля изобутилового спирта, %, рассчитывают, вычитая из 100% сумму массовых долей примесей, определяемых методом газожидкостной хроматографии с применением внутреннего эталона и массовую долю воды в процентах; определение массовой доли кислот в пересчете на уксусную кислоту, заключается в титровании анализируемой пробы раствором гидроксида натрия в присутствии в качестве индикатора фенолфталеина; определение бромного числа, г брома на 100 г. спирта заключается во взаимодействии брома с ненасыщенными примесями, содержащимися в анализируемой пробе,

и в определении их титрованием избытка брома; метод определения массовой доли карбонильных соединений в пересчете на масляный альдегид%, не более заключается в реакции присутствующих в анализируемой пробе альдегидов и кетонов с гидрохлоридом гидросилами в результате которой образуется оксим и соляная кислота, массовую долю которой определяют потенциометрическим титрованием; массовую долю воды, % не более по ГОСТ 14870–77 [15].

### Результаты

В настоящее время при производстве бутанола и его производных в промышленности в основном используются два метода: синтез пропиленкаронила и синтез этилена через ацетальдегид-альдольную конденсацию. Сырье для этих двух методов получают из невозобновляемой нефти, используются катализаторы из драгоценных металлов. И оба включают реакции гидрирования [7, 8, 10–14].

При разработке данной технологии предлагается использование катализаторов и использование механизма реакции Гербе.

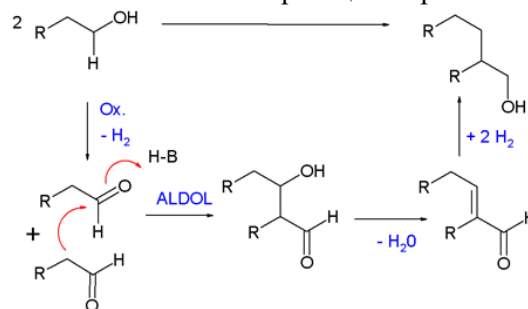


Рисунок 1. Механизм реакции Гербе

Figure 1. Gerbe reaction mechanism

Механизм реакции для этой реакции представляет собой четырехступенчатую последовательность. На первом шаге этиловый спирт будет окислен до альдегида. Эти промежуточные продукты затем вступают в реакцию альдольной конденсации с ацетальдегидом, который катализатор гидрирования затем восстанавливает до спирта.

Предполагаемый механизм Гербе реакции включает стадии дегидрирования, кротоновой конденсации, межмолекулярного и внутримолекулярного окисления-восстановления.

Согласно процессуальной схеме процесс разделяют на следующие стадии: подготовка сырья (приемка, очистка); испарение КГП и КГФ; абсорбция и обезвоживание; получение ацетальдегида; альдольная конденсация ацетальдегида до кротоноальдегидной смеси; катализация кротоноальдегидной смеси; дистилляция бутанола.

Результаты экспериментальных исследований по изучению физико-химических свойств изобутанола, полученного по предлагаемой технологии, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

## Физико-химические показатели изобутилового спирта

Table 1.

## Physical and chemical parameters of isobutanol

Наименование показателя Indicator	Норма /standard		
	Высший сорт top grade	Первый сорт first grade	Второй сорт second grade
Цветность по платиново-кобальтовой шкале, ед. Хазена, не более Chromaticity on the platinum-cobalt scale, Hazen units, no more	7	15	10
Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>   Density at 20 °C, g/cm <sup>3</sup>	0,801-0,803	0,801-0,803	0,801-0,803
Массовая доля бутилового спирта, %, не менее Mass fraction of butyl alcohol, %, not less	99,3	98,5	99,2
Массовая доля кислот в пересчете на уксусную кислоту, %, не более Mass fraction of acids in terms of acetic acid, %, no more	0,003	0,005	0,003
Бромное число, г на 100 г спирта, не более   Bromine number, g/100 g of alcohol, no more	0,02	0,10	0,08
Массовая доля карбонильных соединений в пересчете на масляный альдегид, %, не более   Mass fraction of carbonyl compounds in terms of oil aldehyde, %, no more	0,03	0,10	0,09
Массовая доля нелетучего остатка, %, не более   Mass fraction of non-volatile residue, %, no more	0,0025	0,0030	0,0028
8 Массовая доля воды, %, не более   Mass fraction of water, %, no more	0,1	0,2	0,15

Массовая доля полученного по предлагаемой технологии изобутилового спирта второго сорта составила 99,2%, что ниже концентрации, чем и изобутанола высшего сорта, но значительно выше чем у первого сорта.

**Заключение**

В качестве конечного продукта производственного процесса в рамках предлагаемой технологии получен изобутиловый спирт, который в дальнейшем планируется использовать при производстве пластмасс, резины, покрытий, медицине и производстве специальных растворителей, а так же в качестве добавки к топливу.

Преимущества бутанола и его изомеров по сравнению с биоэтанолом и бензином:

- Более безопасен в использовании, поскольку испаряется в 6 раз медленнее, чем этанол и в 13,5 менее летуч, чем бензин;
- Хорошо смешивается с бензином, дизельным топливом, спиртами;
- При сгорании выделяет на 25% больше энергии, чем этанол, при этом сгорание более экологично по сравнению с бензином;
- Антидетонационные характеристики выше, чем у бензина; октановое число бензина находится в пределах от 87 до 93, для биобутанола соответствующая величина изменяется от 95 до 105.

**Литература**


- 1 Xu J., Li M., Ni T. Feedstock for bioethanol production from a technological paradigm perspective // *BioResources*. 2015. V. 10. № 3. P. 6285-6340.
- 2 Devaparelli M., Atiyeh H. A review of conversion processes for bioethanol production with a focus on syngas fermentation // *Biofuel Res. J.* 2015. V. 7. P. 268-280.
- 3 Trippe A., Ruthven I. Evaluating real patent retrieval effectiveness // *Current Challenges in Patent Information Retrieval*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017. P. 143-162.
- 4 Montecchi T., Russo D., Liu Y. Searching in Cooperative Patent Classification: Comparison between keyword and concept-based search // *Advanced Engineering Informatics*. 2013. V. 27. № 3. P. 335-345. doi: 10.1016/j.aei.2013.02.002
- 5 Karvonen M., Klemola K. Identifying bioethanol technology generations from the patent data // *World Patent Information*. 2019. V. 57. P. 25-34. doi: 10.1016/j.wpi.2019.03.004
- 6 Fang Y.R., Wu Y., Xie G.H. Crop residue utilizations and potential for bioethanol production in China // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. V. 113. P. 109288. doi: 10.1016/j.rser.2019.109288
- 7 Пат. № 2080382, RU, C1, C12N 1/20, C12P 7/06, 7/06, C12R 1/145. Штамм бактерий *Clostridium Acetobutylicum*-продуцент н-бутилового спирта и ацетона / Лукина Г.П., Абилов С.К., Любимова И.К., Великая М.А., Ежова И.Е., Артюшкина Т.В. № 95 95103597; Заявл. 13.03.1995.
- 8 Qureshi N., Maddox I.S. Reduction in butanol inhibition by perstraction: utilization of concentrated lactose/whey permeate by *Clostridium acetobutylicum* to enhance butanol fermentation economics // *Food and Bioproducts Processing*. 2005. V. 83. № 1. P. 43-52. doi: 10.1205/fbp.04163
- 9 Производство и рынок н-бутанола и изобутанола в СНГ. URL: <https://tebiz.ru/mi/rynok-butanola-1-v-rossii>
- 10 Abbasov A.R. N-butanol based emulsified diesel fuel production // *Kimya Problemleri*. 2020. № 1. P. 61-67. doi: 10.32737/2221-8688-2020-1-61-67
- 11 Tutak W., Szwaja S., Lukacs K. Alcohol-diesel fuel combustion in the compression ignition engine // *Fuel*. 2015. V. 154. P. 196-206. doi: 10.1016/j.fuel.2015.03.071
- 12 Nayyar A., Sharma D., Soni S.L., Mathur A. Characterization of n-butanol diesel blends on a small size variable compression ratio diesel engine: Modeling and experimental investigation // *Energy conversion and management*. 2017. V. 150. P. 242-258. doi: 10.1016/j.enconman.2017.08.031
- 13 Siwale L., Kristof L., Adam T., Bereczky A. et al. n-Butanol-Diesel (D2) Blend Fired in a Turbo-Charged Compression Ignition Engine: Performance and Combustion Characteristics // *Improv. Trends Intern. Combust. Engines*. 2018. V. 3. P. 21. doi: 10.5772/intechopen.72879
- 14 Kuszewski H. Effect of injection pressure and air-fuel ratio on the self-ignition properties of 1-butanol-diesel fuel blends: Study using a constant-volume combustion chamber // *Energy & Fuels*. 2019. V. 33. № 3. P. 2335-2347. doi: 10.1021/acs.energyfuels.8b04523
- 15 ГОСТ 9536-2013. Спирт изобутиловый. Технические условия. Москва, 2019.
- 16 Lakshmi N.M. Binod P., Sindhu R., Awasthi M.K. et al. Microbial engineering for the production of isobutanol: current status and future directions // *Bioengineered*. 2021. V. 12. № 2. P. 12308-12321. doi: 10.1080/21655979.2021.1978189

- 17 Su Y., Zhang W., Zhang A., Shao W. et al. Biorefinery: The production of isobutanol from biomass feedstocks // *Applied Sciences*. 2020. V. 10. №. 22. P. 8222. doi: 10.3390/app10228222
- 18 Desai S.H., Rabinovitch-Deere C.A., Fan Z., Atsumi S. Isobutanol production from cellobionic acid in *Escherichia coli* // *Microbial cell factories*. 2015. V. 14. №. 1. P. 1-10. doi: 10.1186/s12934-015-0232-6
- 19 Sherkhonov S., Korman T.P., Chan S., Faham S. et al. Isobutanol production freed from biological limits using synthetic biochemistry // *Nature communications*. 2020. V. 11. №. 1. P. 4292. doi: 10.1038/s41467-020-18124-1
- 20 Matsuda F., Ishii J., Kondo T., Ida K. et al. Increased isobutanol production in *Saccharomyces cerevisiae* by eliminating competing pathways and resolving cofactor imbalance // *Microbial cell factories*. 2013. V. 12. №. 1. P. 1-11. doi: 10.1186/1475-2859-12-119


### References

- 1 Xu J., Li M., Ni T. Feedstock for bioethanol production from a technological paradigm perspective. *BioResources*. 2015. vol. 10. no. 3. pp. 6285-6340.
- 2 Devaparelli M., Atiyeh H. A review of conversion processes for bioethanol production with a focus on syngas fermentation. *Biofuel Res. J.* 2015. vol. 7. pp. 268-280.
- 3 Trippe A., Ruthven I. Evaluating real patent retrieval effectiveness. *Current Challenges in Patent Information Retrieval*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2017. pp. 143-162.
- 4 Montecchi T., Russo D., Liu Y. Searching in Cooperative Patent Classification: Comparison between keyword and concept-based search. *Advanced Engineering Informatics*. 2013. vol. 27. no. 3. pp. 335-345. doi: 10.1016/j.aei.2013.02.002
- 5 Karvonen M., Klemola K. Identifying bioethanol technology generations from the patent data. *World Patent Information*. 2019. vol. 57. pp. 25-34. doi: 10.1016/j.wpi.2019.03.004
- 6 Fang Y.R., Wu Y., Xie G.H. Crop residue utilizations and potential for bioethanol production in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. vol. 113. pp. 109288. doi: 10.1016/j.rser.2019.109288
- 7 Lukina G.P., Abilev S.K., Lyubimova I.K., Velikaya M.A., Ezhova I.E., Artyushkina T.V. Bacterial strain *Clostridium Acetobutylicum*-producer of n-butyl alcohol and acetone. Patent RF, no. 2080382, 1995.
- 8 Qureshi N., Maddox I.S. Reduction in butanol inhibition by perstraction: utilization of concentrated lactose/whey permeate by *Clostridium acetobutylicum* to enhance butanol fermentation economics. *Food and Bioproducts Processing*. 2005. vol. 83. no. 1. pp. 43-52. doi: 10.1205/fbp.04163
- 9 Production and market of n-butanol and isobutanol in the CIS. Available at: <https://tebiz.ru/mi/rynok-butanol-1-v-russii> (in Russian).
- 10 Abbasov A.R. N-butanol based emulsified diesel fuel production. *Kimya Problemleri*. 2020. no. 1. pp. 61-67. doi: 10.32737/2221-8688-2020-1-61-67
- 11 Tutak W., Szwaja S., Lukacs K. Alcohol-diesel fuel combustion in the compression ignition engine. *Fuel*. 2015. vol. 154. pp. 196-206. doi: 10.1016/j.fuel.2015.03.071
- 12 Nayyar A., Sharma D., Soni S.L., Mathur A. Characterization of n-butanol diesel blends on a small size variable compression ratio diesel engine: Modeling and experimental investigation. *Energy conversion and management*. 2017. vol. 150. pp. 242-258. doi: 10.1016/j.enconman.2017.08.031
- 13 Siwale L., Kristof L., Adam T., Bereczky A. et al. n-Butanol-Diesel (D2) Blend Fired in a Turbo-Charged Compression Ignition Engine: Performance and Combustion Characteristics. *Improv. Trends Intern. Combust. Engines*. 2018. vol. 3. pp. 21. doi: 10.5772/intechopen.72879
- 14 Kuszewski H. Effect of injection pressure and air-fuel ratio on the self-ignition properties of 1-butanol-diesel fuel blends: Study using a constant-volume combustion chamber. *Energy & Fuels*. 2019. vol. 33. no. 3. pp. 2335-2347. doi: 10.1021/acs.energyfuels.8b04523
- 15 GOST 9536-2013. Isobutyl alcohol. Specifications. Moscow, 2019. (in Russian).
- 16 Lakshmi N.M. Binod P., Sindhu R., Awasthi M.K. et al. Microbial engineering for the production of isobutanol: current status and future directions. *Bioengineered*. 2021. vol. 12. no. 2. pp. 12308-12321. doi: 10.1080/21655979.2021.1978189
- 17 Su Y., Zhang W., Zhang A., Shao W. et al. Biorefinery: The production of isobutanol from biomass feedstocks. *Applied Sciences*. 2020. vol. 10. no. 22. pp. 8222. doi: 10.3390/app10228222
- 18 Desai S.H., Rabinovitch-Deere C.A., Fan Z., Atsumi S. Isobutanol production from cellobionic acid in *Escherichia coli*. *Microbial cell factories*. 2015. vol. 14. no. 1. pp. 1-10. doi: 10.1186/s12934-015-0232-6
- 19 Sherkhonov S., Korman T.P., Chan S., Faham S. et al. Isobutanol production freed from biological limits using synthetic biochemistry. *Nature communications*. 2020. vol. 11. no. 1. pp. 4292. doi: 10.1038/s41467-020-18124-1
- 20 Matsuda F., Ishii J., Kondo T., Ida K. et al. Increased isobutanol production in *Saccharomyces cerevisiae* by eliminating competing pathways and resolving cofactor imbalance. *Microbial cell factories*. 2013. vol. 12. no. 1. pp. 1-11. doi: 10.1186/1475-2859-12-119


### Сведения об авторах

**Наталья В. Зуева** к.т.н., доцент, кафедра броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [nataspi30@ya.ru](mailto:nataspi30@ya.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>


**Сергей А. Веретенников** магистр, кафедра броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [voron456@mail.ru](mailto:voron456@mail.ru)

**Инна В. Новикова** д.т.н., профессор, кафедра броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [noviv@list.ru](mailto:noviv@list.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

### Information about authors

**Natalia V. Zueva** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [nataspi30@ya.ru](mailto:nataspi30@ya.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>

**Sergey A. Veretennikov** master student, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [voron456@mail.ru](mailto:voron456@mail.ru)

**Inna V. Novikova** Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [noviv@list.ru](mailto:noviv@list.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

### Вклад авторов

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

### Contribution

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

### Конфликт интересов






Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 14/10/2022	После редакции 10/11/2022	Принята в печать 28/11/2022
Received 14/10/2022	Accepted in revised 10/11/2022	Accepted 28/11/2022

## Создание функционального творожного продукта с добавлением нетрадиционного сырья

Екатерина Е. Воробьева	<sup>1</sup>	89515923860k@gmail.com	 0000-0001-6362-7589
Варвара И. Минина	<sup>1,2</sup>	vminina@mail.ru	 0000-0003-3485-9123
Ольга О. Соболева	<sup>2</sup>	soboleva.olga88@ya.ru	 0000-0001-7183-6647
Ирина С. Милентьева	<sup>1</sup>	irazumnikova@mail.ru	 0000-0002-3536-562X
Ольга А. Неверова	<sup>1</sup>	neverova@kemsu.ru	 0000-0002-0309-5709






<sup>1</sup> Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, пр. Советский, 18, г. Кемерово, 650000, Россия

**Аннотация.** Неинфекционные заболевания часто возникают вследствие несбалансированного питания. Сердечно-сосудистые заболевания, развивающиеся из-за окислительного стресса, стоят на первом месте по смертности. Для уменьшения риска заболеваний сердечно-сосудистой системы применяются геропротекторы, в большом количестве содержащиеся в овощах. К природным веществам такого типа относятся аскорбиновая кислота и хлорофилл, которые обладают антиоксидантной активностью и входят в состав капусты брокколи. Данные вещества способствуют профилактике сердечно-сосудистых заболеваний. Заболевания желудочно-кишечного тракта также возникают из-за неполноценного питания (приводит к уменьшению количества полезной микрофлоры кишечника). Употребление в пищу творога и продуктов на его основе помогает восполнить необходимое количество естественной микрофлоры кишечника, за счет кислотолюбивых бактерий. *Цель работы* – разработка функционального творожного продукта с добавлением пюре из брокколи. При проведении исследования выяснили, что титруемая кислотность творожной массы с пюре из брокколи составила 113,0 °Т, массовая доля влаги, сахарозы, белка и жира – 40,5; 10,8; 15,7 и 4,2%, соответственно, а энергетическая ценность 100 г продукта равна 110 ккал. Количество молочнокислых бактерий  $13 \times 10^6$  КОЕ/г. Условно патогенных микроорганизмов в ходе исследования не обнаружено. Антиоксидантная активность творожной массы с брокколи составила 55,02%, что на 30,55% больше, чем у творожной массы без добавок. Количество хлорофилла составило 24,36 мг/100г продукта. Благодаря внесению брокколи в творожную массу увеличилось содержание В<sub>1</sub> на 1,45 мг/100г продукта; В<sub>3</sub> – 1,69 мг/100г продукта; В<sub>6</sub> – 0,01 мг/100г продукта; С – 102,8 мг/100г продукта. Таким образом, разработанная творожная масса с брокколи является функциональным продуктом питания для профилактики заболеваний сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта.

**Ключевые слова:** полноценное питание, сердечно-сосудистые заболевания, окислительный стресс, творожный продукт, брокколи, функциональный продукт, геропротекторы.

## Creation of a functional curd product with the addition of non-traditional raw materials

Ekaterina.E. Vorobeva	<sup>1</sup>	89515923860k@gmail.com	 0000-0001-6362-7589
Varvara I. Minina	<sup>1,2</sup>	vminina@mail.ru	 0000-0003-3485-9123
Olga A. Soboleva	<sup>2</sup>	soboleva.olga88@ya.ru	 0000-0001-7183-6647
Irina S. Milentyeva	<sup>1</sup>	irazumnikova@mail.ru	 0000-0002-3536-562X
Olga A. Neverova	<sup>1</sup>	neverova@kemsu.ru	 0000-0002-0309-5709

<sup>1</sup> Kemerovo State University, bul'var Stroiteley, 47, Kemerovo, 650000, Russia

<sup>2</sup> The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Sovetsky av., 18, Kemerovo, 650000, Russia

**Abstract.** Non-communicable diseases often occur due to an unbalanced diet. Cardiovascular diseases that develop due to oxidative stress are in the first place in mortality. To reduce the risk of diseases of the cardiovascular system, geroprotectors are used, in large quantities contained in vegetables. Natural substances of this type include ascorbic acid and chlorophyll, which have antioxidant activity and are part of broccoli cabbage. These substances contribute to the prevention of cardiovascular diseases. Diseases of the gastrointestinal tract also occur due to malnutrition (leads to a decrease in the amount of beneficial intestinal microflora). Eating cottage cheese and products based on it helps to replenish the necessary amount of natural intestinal microflora, due to fermented milk bacteria. The purpose of the work is to develop a functional curd product with the addition of mashed broccoli. During the study, it was found that the titrated acidity of the curd mass with broccoli puree was 113.0 ° T, the mass fraction of moisture, sucrose, protein and fat – 40.5 %, 10.8 %, 15.7 %, 4.2 %, accordingly, the energy value of 100 g of the product is 110 kcal. The number of lactic acid bacteria is  $13 \times 10^6$  CFU/g. Conditionally pathogenic microorganisms were not detected during the study. The antioxidant activity of the curd mass with broccoli was 55.02%, which is 30.55% more than that of the curd mass without additives. The amount of chlorophyll was 24.36 mg/100g of the product. Due to the introduction of broccoli into the curd mass, the content of B<sub>1</sub> increased by 1.45 mg/100g of the product; B<sub>3</sub> – 1.69 mg/100g of the product; B<sub>6</sub> – 0.01 mg/100g of the product; C – 102.8 mg/100g of the product. Thus, the developed curd mass with broccoli is a functional food product for the prevention of diseases of the cardiovascular system and gastrointestinal tract.

**Keywords:** nutrition, cardiovascular diseases, oxidative stress, cottage cheese product, broccoli, functional product, geroprotectors.

### Для цитирования

Воробьева Е.Е., Минина В.И., Соболева О.А., Милентьева И.С., Неверова О.А. Создание функционального творожного продукта с добавлением нетрадиционного сырья // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 80–88. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-80-88

### For citation

Vorobeva E.E., Minina V.I., Soboleva O.A., Milentyeva I.S., Neverova O.A. Creation of a functional curd product with the addition of non-traditional raw materials. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 80–88. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-80-88

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

## Введение

Стремительные изменения в образе жизни современного человека, происходящие в результате индустриализации, урбанизации и роста экономического развития, оказывают значительное влияние на пищевой статус. Обратной стороной процессов модернизации и перехода к новой экономической системе, влекущих за собой более высокий уровень жизни и больший доступ к услугам, явились изменения в характере питания и снижении уровня физической активности, что неминуемо влечет за собой рост числа заболеваний, связанных с питанием [1]

По литературным данным заболевания сердечно-сосудистой системы занимают первое место по смертности [2]. Есть несколько причин возникновения данного вида заболеваний. Если не считать наследственность (генетическая предрасположенность) основными причинами являются: экологическая ситуация в России, частый стресс из-за работы и учебы, а также из-за нехватки времени и других причин люди чаще всего отдают предпочтение фаст-фуду и небольшим перекусам. В таком питании недостает витаминов, микроэлементов, антиоксидантов (участвуют в защите организма от окислительного стресса и преждевременного старения), а также пищевых волокон, присутствующих только в растительных продуктах. Всё это приводит к образованию в организме человека большого количества активных форм кислорода (АФК). Таким образом, возникающий окислительный стресс в свою очередь, способствует увеличению риска возникновения сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) [3]. Согласно Указу Президента РФ № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», необходимо обеспечить снижение смертности населения России от болезней системы кровообращения до 450 случаев на 100 тыс. населения к 2024 году [4]. Поскольку свободнорадикальные окислительные процессы – один из ведущих факторов патогенеза, одно из перспективных направлений современной пищевой промышленности – обогащение привычных продуктов питания антиоксидантами и антиоксидантными комплексами природного происхождения, которые могли бы использоваться в качестве средства профилактики заболеваний, вызванных агрессивным действием свободных радикалов на организм человека. Существуют такие вещества – геропротекторы (полифенольные вещества, гликозиды, дубильные вещества и флавоноиды), витамины, в особенности, аскорбиновая кислота [5–7]. Одним из перспективных источников хлорофилла (флавоноид), витаминов

может стать капуста брокколи [8–10]. В ней содержатся водо- и жирорастворимые витамины (С, В<sub>1</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>6</sub>, К), микроэлементы, обладающие высокой антиоксидантной активностью [11, 12].

Помимо ССЗ несбалансированное питание приводит к заболеваниям желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Это происходит из-за уменьшения количества полезной микрофлоры, и нарушения обмена веществ [13]. Творог и его производные – традиционные кисломолочные продукты, являющиеся популярными среди потребителей. В их состав входят легкоусвояемые животные белки (усваиваются лучше, чем при потреблении молока), водорастворимые витамины (В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>) [14], микроэлементы [15], а также жирные кислоты (омега-3 и омега-6) [16]. Творожный продукт, произведенный традиционным способом из молока 0,5% жирности, помимо хорошей биологической ценности является низкокалорийным (содержание жира не более 3%). Помимо вышеперечисленных элементов творожные продукты содержат большое количество молочнокислых микроорганизмов (естественная микрофлора кишечника), но с учетом агрессивной среды желудка, не все они доходят до кишечника. Отличным пробиотиком являются бифидобактерии. По литературным данным они не только увеличивают количество молочнокислых бактерий в ЖКТ, но и сокращают время сквашивания кисломолочных продуктов. Однако содержание других микронутриентов и антиоксидантов в таком продукте незначительное, кроме того в нем отсутствуют пищевые волокна, необходимые для нормального пищеварения.

Употребление кисломолочных продуктов, обогащенных растительным сырьем, может явиться одним из способов укрепления здоровья человека, а также выступать в качестве биокорректора, улучшающего функционирование жизненно важных систем организма [17, 18]. В настоящее время все больше набирает популярность использование нетрадиционного сырья при производстве кисломолочных продуктов [19]. Творожная масса может стать наиболее подходящим для внесения брокколи. Costa С. и соавторы доказали, что добавление в творожный продукт брокколи улучшает органолептические и физико-химические показатели [10].

**Цель работы** – создание функциональной творожной массы с добавлением пюреобразной брокколи.

## Материалы и методы

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» на базе КемГУ.



Объекты исследования послужили: закваска для творога «Vivo» (*Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *Cremonis*, *Lactococcus lactis* subvar. *diacetylactis*); закваска на основе *Bifidobacterium adolescentis* штамм AC-1578 из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов; творожная масса, пюре из брокколи, творожная масса с пюре из брокколи (далее – готовый продукт), приготовленные самостоятельно.

Приготовление маточной и лабораторной заквасок по Власовой и Аккацевой [21], с использованием закваски для творога «Vivo» и штамма *Bifidobacterium adolescentis* AC-1578.

Определение титруемой кислотности по ГОСТ 3624–92.

Микропипирование заквасок проводили по ГОСТ 32901–2014. Окраска производилась с помощью красителя метиленовый синий.

Определение интенсивности кислотообразования проводили в соответствии с методикой Анисомовой и др [22]. В качестве питательной среды использовали молоко «Домик в деревне» ультрапастеризованное, заявленная жирность 0,5%, культивировали в течение 8 часов и каждый час определяли титруемую кислотность по ГОСТ 3624–92.

Методика приготовления творожной массы. Колбу с молоком кипятили в течение 15 мин и охлаждали до температуры сквашивания и вносили лабораторную закваску в количестве 5% от объема молока, тщательно перемешивали. Ставили в термостат при температуре 39 °C и сквашивали 6 ч. Далее сгусток кипятили в течение 30 мин для отделения сыворотки и фильтровали через марлю. Творог перетирали через мелкое сито для получения нужной консистенции и добавляли по 15% от массы творога, сливочного масла (для творожной массы с брокколи 7%) и 15% сахарной пудры.

Органолептическая оценка творожной массы и готового продукта по ГОСТ 31680–2012.

Приготовление пюре из брокколи. Предварительно помытую капусту ставили бланшироваться на 3 мин, затем приготовленные продукты по отдельности перетирали до пюреобразного состояния.

Приготовление готового продукта. К творожной массе добавляли брокколи в соотношениях 3\1, соответственно.

Определение влажности по ГОСТ 3626-73.

Определение содержания жира в готовом продукте по Востриковой и др. Экстракцию проводили на аппарате Сокслета [23].

Определение количества молочнокислых микроорганизмов по ГОСТ 10444.11–89.

Определение наличия БГКП, плесневых и дрожжей, стафилококков в готовом продукте по ГОСТ Р 56145–2014.

Определение антиоксидантной активности осуществляли при помощи 2,2'-азино-бис-[3-этилбензтиазолин сульфонат] (ABTS). Исходные растворы ABTS (7 ммоль $\times$ л<sup>-1</sup>) и персульфата калия (140 ммоль $\times$ л<sup>-1</sup>) смешивали в соотношении 1:1 и оставляли на 16 часов при комнатной температуре в темном месте. Конечный раствор разбавляли смешиванием 5 мл ABTS с 88 мкм метанола, для получения оптической плотности  $0,70 \pm 0,10$  при 734 нм. 5 г продукта растворяли в 20 мл дистиллированной воды и оставляли на 24 ч. Затем фильтровали через бумажный фильтр «желтая лента», в 1 мл фильтрата добавляли 15 мл реактива ABTS. Выдерживали в течение 30 минут в темном месте и проверяли оптическую плотность при 734 нм на спектрофотометре ЮНИКО 1201. Результаты выражали в процентах в отношении к стандартному раствору ABTS [24].

Определение общего хлорофилла по методике Li и соавторов [25] 2 г продукта помещали в коническую колбу со шлифом вместимостью 250 мл и экстрагировали в 50 мл 70% этилового спирта в течение 30 мин на водяной бане. Затем охлаждали колбу и фильтровали через бумажный фильтр «желтая лента», в мерную колбу объемом 100 мл. Оставшийся в колбе осадок опять заливали 50 мл 70% спирта этилового и экстрагировали в течение 30 мин, охлаждали и фильтровали в ту же мерную колбу, что и первую вытяжку. Затем доводили до метки 70% этиловым спиртом (рабочий раствор). 4 мл рабочего раствора наливали в мерную колбу на 25 мл и доводили объем 95% этиловым спиртом до метки (исследуемый раствор). Оптическую плотность полученного исследуемого раствора измеряли на спектрофотометре ЮНИКО 1201 используя кюветы толщиной слоя 10 мм при длине волны 667 нм. В качестве раствора сравнения использовали 95% этиловый спирт. Содержание хлорофилла в процентах (Хл) вычисляли по формуле (1):

$$Xл = 5 \times 100m \times 9, \quad (1)$$

где Хл – содержание общего хлорофилла, %; А – оптическая плотность раствора в соответствующем максимуме поглощения; m – масса сырья, г; 944,5 – удельный показатель поглощения хлорофилла при  $663 \pm 5$  нм [26].

Определение содержания водорастворимых витаминов. Готовили 0,05 М приготовить раствор, затем с помощью концентрированной ортофосфорной кислоты доводили pH раствора до 3. Образцы массой 5 г, взвешенные на аналитических весах, экстрагировали в 20 мл раствора дигидрофосфата калия в ультразвуковой ванне в течение 15 мин, далее центрифугировали 15 мин при 6000 об/мин, супернатант центрифугировали

еще один раз в течении 5 мин при 12000 об/мин. Определение проводили на хроматографе Shimadzu LC-20 Prominence с флуориметрическим детектором RF-20A XS, колонкой Phenomenex Gemini C-18 250 x 4,6 мм. Режим хроматографии градиентный. Компоненты подвижной фазы состояли из ацетонитрила, ранее приготовленный 0,05 М раствор дигидрофосфата калия. Объем

инъекции 20 мкл, скорость элюирования 0,8 мл/мин, температура окружающей среды [27].

### Результаты и обсуждение

Для определения чистоты заквасочных культур необходимо провести микроскопию маточной закваски. Микроскопия маточной закваски на основе закваски для творога «Vivo» представлена на рисунке 1.

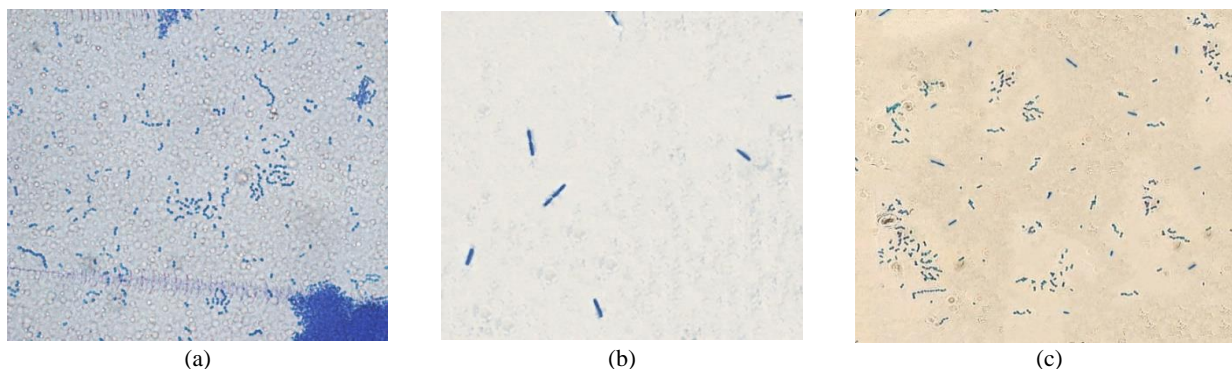


Рисунок 1. Микроскопия заквасок: (а) маточная закваска на основе закваски для творога «Vivo»; (b) маточная закваска на основе *Bifidobacterium adolescentis* AC-1578; (c) лабораторная закваска на основе вышеперечисленных маточных заквасок

Figure 1. Microscopy of starter cultures: (a) uterine starter culture based on the starter culture for cottage cheese "Vivo"; (b) uterine starter culture based on *Bifidobacterium adolescentis* AC-1578; (c) laboratory starter culture based on the above uterine starter cultures

Как видно закваска содержит в себе кокков, диплококков и стрептококков. Диаметр одной клетки не превышал 0,3 мкм. Как видно закваска представлена палочками. Длина одной клетки не превышала 3,4 мкм, ширина – 0,5 мкм. В 5 полях зрения посторонний микрофлоры не обнаружено.

Для определения активности кислотообразования необходимо измерять титруемую кислотность после 2, 4, 5, 6, 7, 8 ч термостатирования. Результаты определения активности кислотообразования представлены на рисунке 2.

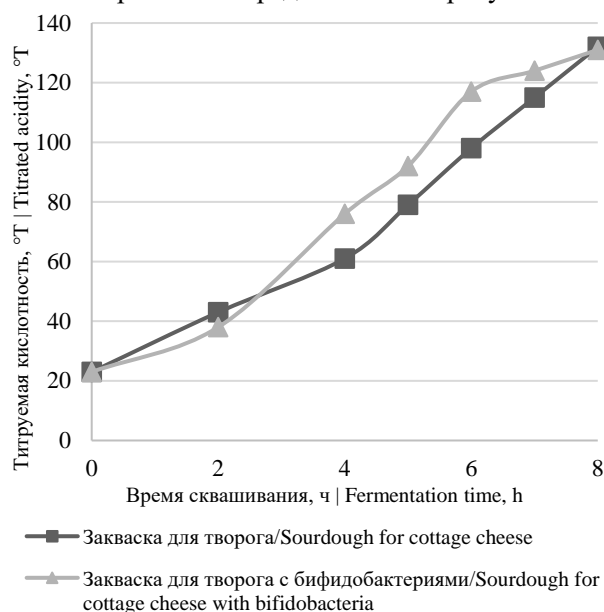


Рисунок 2. Активность кислотообразования заквасок

Figure 2. Acid formation activity of starter cultures

Из рисунка 2 можно сделать вывод о том, что оптимальное время сквашивания молока закваской для творога составляет 7 ч. При добавлении в закваску *Bifidobacterium adolescentis* данное время уменьшается на час. Таким образом, сквашивание молока до оптимальной титруемой кислотности закваской для творога и *Bifidobacterium adolescentis* AC-1578 занимает 6 ч.

Для определения качества творожной массы и готового продукта, приготовленных в лабораторных условиях, необходимо провести органолептический, физико-химический и бактериологический анализ готового продукта. Результаты определения органолептических показателей представлены в таблице 1.

Таким образом, творожная масса и готовый продукт, приготовленные в лабораторных условиях, соответствует ГОСТ 31680–2012 и являются безопасными для употребления в пищу, так как в них не содержатся бактерии группы кишечной палочки.

С учетом того, что творог для готового продукта производился из молока 0,5% жирности и меньшему добавлению сливочного масла в готовый продукт, есть отличия по массовым долям жира и сахарозы. Энергетическая ценность 100 г. творожной массы составляет 157,4 ккал, готового продукта – 110,4 ккал.



Таблица 1.  
Органолептические и физико-химические показатели качества творожной массы и готового продукта

Table 1.  
Organoleptic and physico-chemical indicators of the quality of the curd mass and the finished product

Показатели   Indicators	Творожная масса Curd mass	Готовый продукт Finished product
Консистенция   Consistency	Однородная масса без комочков, в меру плотная	
Вкус и запах   Taste and smell	Чистый, кисломолочный вкус без посторонних запахов и привкусов, не свойственных творожной массе.	Чистый, кисломолочный вкус/запах с привкусом брокколи
Цвет   Colour	Светло-кремового	Светло-зеленый
Титруемая кислотность, °T   Titrated acidity, °T	121,0 ± 7,1	113,0 ± 5,5
Массовая доля влаги, %   Mass fraction of moisture, %	35,1 ± 1,6	40,5 ± 1,8
Массовая доля сахарозы, %   Mass fraction of sucrose, %	12,3 ± 0,1	10,8 ± 0,1
Массовая доля белка, %   Mass fraction of protein, %	16,3 ± 0,7	15,7 ± 0,6
Массовая доля жира, %   Массовая доля жира, %	9,3 ± 0,4	4,2 ± 0,2
Содержание молочнокислых бактерий, КОЕ, г Content of lactic acid bacteria, CFU, g	2×10 <sup>7</sup>	13×10 <sup>6</sup>
Индекс БГКП, КОЕ, г   BGCP index, CFU, g	н/о	н/о
Индекс стафилококка, КОЕ, г   Staphylococcus index, CFU, g	н/о	н/о
Плесневые и дрожжи, КОЕ, г   Mold and yeast, CFU, g	н/о	н/о
н.о – не обнаружено		

Как было сказано ранее сердечно-сосудистые заболевания возникают из-за накопления большого количества АФК, что приводит к окислительному стрессу. Брокколи содержит в своем составе различные вещества, обладающие высокими антиоксидантными свойствами, что снижает риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний [8]. Результаты определения общей антиоксидантной активности сырья и готового продукта представлены на рисунке 3.

Таким образом, благодаря внесению пюре из брокколи в творожную массу антиоксидантная

активность в готовом продукте увеличилась на 30,55%. Геропротекторы обладают высокими антиоксидантными свойствами. Одни из них – это флавоноиды (хлорофилл, каротиноиды). В работе Причко с соавторами было выяснено, что в брокколи содержится в среднем 60 мг хлорофилла в 100 г. побегов [28], что и способствует высокой антиоксидантной активности данного продукта. Результаты определения количества хлорофилла в брокколи и готовом продукте представлены на рисунке 4.

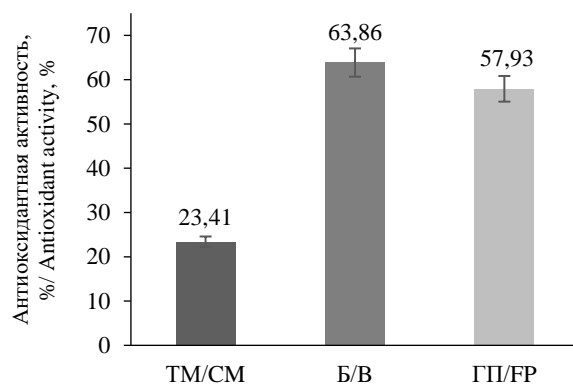


Рисунок 3. Антиоксидантная активность со стандартной погрешностью: ТМ – творожная масса; Б – брокколи; ГП – готовый продукт

Figure 3. Antioxidant activity with a standard error: CU – curd mass; B – broccoli; FP – finished product

Витамин В<sub>1</sub> необходим для нормализации работы мышечной / центральной нервной / дыхательной систем и обмена веществ, а также снижает внутриклеточный уровень глюкозы [29]. Рибофлавин участвует в образовании эритроцитов, белков, регулирует жировой обмен, поддерживает нормальную работу щитовидной

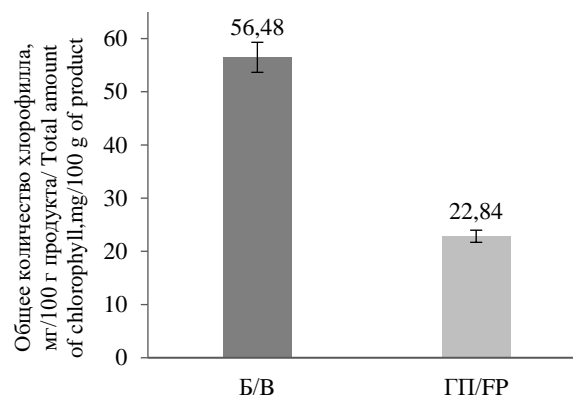


Рисунок 4. Содержание хлорофилла со стандартной погрешностью: ТМ – творожная масса; ГП – готовый продукт

Figure 4. Chlorophyll content with a standard error: TM – curd mass; FP – finished product

железы [30]. В<sub>3</sub> – способствует протеканию окислительно-восстановительных реакций в качестве кофермента НАД и НАДФ [31], регулирует синтез ферментов, липидный и углеводный обмен [32]. Пантотеновая кислота – положительно влияет на активность стероидных и пептидных гормонов, участвует в экспрессии

генов, отвечающих за центральную нервную систему, а также регулирует процесс построения и развития клеток [33]. В<sub>6</sub> регулирует работу центральной нервной системы, метаболизм аминокислот, гликогена, липидов, участвуют

в обмене и транспортировке железа в клетки костного мозга [34]. Витамин С обладает противогрибковой и антиоксидантной активностями, участвует в синтезе нейромедиаторов [35].

Таблица 2.

Содержание водорастворимых витаминов в брокколи, творожной массе и готовом продукте

Table 2.

The content of water-soluble vitamins in broccoli, cottage cheese and the finished product

Содержание витамина, мг Vitamin's contains, mg	В 100 г. брокколи In 100 g of broccoli	В 100 г. творожной массы In 100 g of curd mass	В 100 г. творожной массы с брокколи In 100 g of curd mass with broccoli	Суточная норма витамина для человека, мг The daily norm of vitamin for a person, mg
B <sub>1</sub>	6,71 ± 0,06	н/о	1,45 ± 0,01	1,5
B <sub>2</sub>	н/о	0,84 ± 0,01	0,78 ± 0,01	1,8
B <sub>3</sub>	6,33 ± 0,07	1,34 ± 0,01	3,03 ± 0,02	20
B <sub>5</sub>	н/о	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0,01	5
B <sub>6</sub>	0,15 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,13 ± 0,01	2
С	165,74 ± 1,82	7,33 ± 0,08	110,13 ± 1,26	90
н/о – не обнаружено				

Vargasetal. [36] в исследовании выяснили, что в брокколи содержится 6,8 мг / 100г капусты витамина В<sub>1</sub>. В работе Причко и соавторов обнаружилось, что в капусте содержится 154,0–195,4 мг/100 г. аскорбиновой кислоты, витамина В<sub>3</sub> – 4,2 мг/100 г. [37]. Мелибова и др. обнаружили с брокколи 0,175 мг/100г витамина В<sub>6</sub> [38]. По данным исследования Лисина и Ефремова в твороге содержится 0,3 мг/100г продукта витамина В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub> – 0,3 мг/100г, В<sub>6</sub> – 0,1 мг/100г, С – 0,5 мг/100г [39]. Розикова и Серова обнаружили, что в творожной массе содержание В<sub>5</sub> составляет 0,21 мг/100г [40]. Небольшие отличия в содержании витаминов в сравнении с вышеперечисленными исследованиями может быть из-за термической обработки (бланширование капусты брокколи), так как водорастворимые витамины легко разрушаются при нагревании (содержание витамина ниже, чем по литературным данным). Также на содержание (больше или меньше) данных нутриентов влияет сорт капусты брокколи. Готовый продукт планируется изготавливать массой 80г.

### Заключение

При микрокопировании маточной и лабораторной заквасок наблюдали кокков, диплококков и стрептококков (микроорганизмы из закваски для творога «Vivo») и бацилл (*Bifidobacterium adolescentis* AC-1578), посторонняя микрофлора не обнаружена. Анализ интенсивности кислотообразования показал, что готовая закваска для творога, состоящая из трех микроорганизмов, сквашивает молоко до необходимой титруемой кислотности за 7 ч.

При добавлении, в вышеупомянутую закваску, *Bifidobacterium adolescentis* AC-1578 время сквашивания сокращается до 6 ч.

Анализ качества готового продукта показал, что творожная масса обладает кисломолочным вкусом / запахом с привкусом брокколи. Титруемая кислотность составила 113 °Т, массовая доля влаги 40,5%. Благодаря, изменению сырья от ГОСТ 31680–2012, готовый продукт обладает более низкой калорийностью – 110,4 ккал.

Из-за внесения в творожную массу поре из брокколи её антиоксидантная активность составила 55,02%. Количество хлорофилла в готовом продукте (80 г.) – 19,2 мг. В среднем суточная норма для взрослого человека – 100 мг, таким образом, готовый продукт удовлетворяет потребность в данном флавоноиде на 19,2%. Содержание витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>5</sub>, В<sub>6</sub> и С в готовом продукте составило 1,16; 0,62; 2,42; 0,07; 0,10 и 88,10 мг, соответственно. В пересчете на суточную норму удовлетворение в вышеперечисленных витаминах: 96,67; 34,44; 12,1; 1,4; 5; 97,89%, соответственно.

Таким образом, при добавлении брокколи в творожную массу при соотношении 1/3, соответственно увеличивается антиоксидантная активность готового продукта примерно в два раза, а содержание некоторых витаминов более 95% от суточной нормы. Данный продукт является функциональным продуктом питания для профилактики заболеваний желудочно-кишечного тракта и сердечно-сосудистой системы.

### Литература

- 1 Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013–2020. World Health Organization; Geneva, Switzerland, 2013.
- 2 Барбараш О.Л., Артамонова Г.В., Индукаева Е.В., Максимов С.А. Международное эпидемиологическое исследование неинфекционных заболеваний в России: протокол исследования // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2018. Т. 7. № 4. С. 128–135. doi: 10.17802/2306-1278-2018-7-4-128-135

- 3 Saha S.K., Lee S.B., Won J., Choi H.Y. et al. Correlation between Oxidative Stress, Nutrition, and Cancer Initiation // *Int. J. Mol. Sci.* 2017. V. 18. № 8. P. 1544. doi: 10.3390/ijms18071544
- 4 Указ Президента Российской Федерации № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» от 07.05.2018. 2018. 19 с.
- 5 Chacko S.M., Thambi P.T., Kuttan R., Nishigakim I. Beneficial effects of green tea: A literature review // *Chinese Medicine*. 2010. V. 5. № 1. P. 13. doi: 10.1186/1749-8546-5-13
- 6 Mileo A.M., Miccadei S. Polyphenols as modulator of oxidative stress in cancer disease: new therapeutic strategies // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2016. V. 2016. P. 6475624.
- 7 Weiss J.F., Landauer M.R. Protection against ionizing radiation by antioxidant nutrients and phytochemicals // *Toxicology*. 2003. V. 189. № 1–2. P. 1–20.
- 8 Филатов А.С., Эзергайл К.В., Мельникова Е.А., Мельников А.Г. Новый кисломолочный продукт – творог с овощами // *Аграрно-пищевые инновации*. 2019. Т. 7. № 3. С. 56–63.
- 9 Шилов О.А., Шилов А.И. Новый творожный продукт с повышенной пищевой и биологической ценностью // *Вестник ОрелГАУ*. 2012. № 1. С. 152–154.
- 10 Утебаева А.А., Бахтыбекова А.Р., Алибеков Р.С., Сысоева М.А. Разработка кисломолочного продукта с функциональными пищевыми добавками // *Новые технологии*. 2016. № 2. С. 33–39.
- 11 Mansour A., Shekib L., Elshimy N., Sharara M. Biological Evaluation of Raw and Steamed Broccoli and Cauliflower as Sources of Dietary Fibers // *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2017. V. 8. № 4. P. 185–190.
- 12 Bawajeeh A.O., Albar S.A., Zhang H., Zulyniak M.A., et al. Impact of Taste on Food Choices in Adolescence – Systematic Review and Meta Analysis // *Nutrients*. 2020. V. 12. № 7. P. 1–17.
- 13 Corsello A., Pugliese D., Gasbarrini A., Armuzzi A. Diet and Nutrients in Gastrointestinal Chronic Diseases // *Nutrients*. 2020. V. 12. № 9. P. 2693. doi: 10.3390/nu12092693
- 14 Mikkelsen K., Prakash M.D., Kuol N., Nurgali K. et al. Anti-Tumor Effects of Vitamin B2, B6 and B9 in Promonocytic Lymphoma Cells // *Int J Mol Sci*. 2019. V. 20. № 15. P. 3763–3781.
- 15 Ахмеджанова З.И., Жиенмуратова Г.К., Данилова Е.А., Урунова Д.М. и др. Макро- и микроэлементы в жизнедеятельности организма и их взаимосвязь с иммунной системой (обзор литературы) // *Журнал теоретической и клинической медицины*. 2020. № 1. С. 16–21.
- 16 Perdana B.A., Chaidir Z., Kusananda A.J., Dharma A. et al. Omega-3 fatty acids of microalgae as a food supplement: A review of exogenous factors for production enhancement // *Algal Research*. 2021. V. 60. P. 102542. doi: 10.1016/j.algal.2021.102542
- 17 Гусейнова Б.М., Мукайлов М.Д. Особенности экстракции нутриентов из плодов рябины, терна и шиповника // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2018. № 1. С. 109–117. doi: 10.26897/0021-342X-2018-1-109-117
- 18 Москвина Н.А., Голубцова Ю.В. Методические аспекты контроля качества молочных продуктов с растительными добавками // *Техника и технология пищевых производств*. 2019. Т. 49. № 1. С. 32–42. doi: 10.21603/2074-9414-2019-1-32-42
- 19 Мистенева С.Ю., Савенкова Т.В., Демченко Е.А., Щербакова Н.А. и др. Актуальность создания специализированных кондитерских изделий для питания детей старше трех лет // *Техника и технология пищевых производств*. 2020. Т. 50. № 2. С. 282–295. doi: 10.21603/2074-9414-2020-2-282-295
- 20 Costa C., Lucera A., Marinelli V., Conte A. Influence of different by-products addition on sensory and physicochemical aspects of Primosale cheese // *J Food Sci Technol*. 2018. № 55. P. 4174–4183.
- 21 Власова Ж.А., Аккацев А.А. Биотехнология производства творога с использованием закваски на основе культур местных штаммов лактобактерий // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 56. № 1. С. 173–176.
- 22 Анисимова Е.А., Яруллина Д.Р., Ильинская О.Н. Антагонистическая активность лактобацилл, выделенных из природных эконис // *Микробиология*. 2017. Т. 86. № 6. С. 696–702. doi: 10.7868/S0026365617060052
- 23 Вострикова Н.Л., Кузнецова О.А., Куликовский А.В. Методические аспекты извлечения липидов из биологических матриц // *Теория и практика переработки мяса*. 2018. № 2. С. 4–21.
- 24 Parsa A., Salout S.A. Investigation of the antioxidant activity of electrosynthesized polyaniline/reduced graphene oxide nanocomposite in a binary electrolyte system on ABTS and DPPH free radicals // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2016. V. 760. P. 113–118. doi: 10.1016/j.jelechem.2015.11.021
- 25 Li J., Lu X., Ju W., Li J. et al. Seasonal changes of leaf chlorophyll content as a proxy of photosynthetic capacity in winter wheat and paddy rice // *Ecological Indicators*. 2022. V. 140. P. 109018. doi: 10.1016/j.ecolind.2022.109018
- 26 Shen Y., Chen M., Hong J., Xiong W. et al. Identification and characterization of tsyl1, a thermosensitive chlorophyll-deficient mutant in rice (*Oryza sativa*) // *Journal of Plant Physiology*. 2022. V. 277. P. 153782. doi: 10.1016/j.jplph.2022.153782
- 27 Porter K., Lodge J.K. Determination of selected water-soluble vitamins (thiamine, riboflavin, nicotinamide and pyridoxine) from a food matrix using hydrophilic interaction liquid chromatography coupled with mass spectroscopy // *Journal of Chromatography B*. 2021. V. 1171. P. 122541. doi: 10.1016/j.jchromb.2021.122541
- 28 Причко Т.Г., Германова М.Г., Казахмедов Р.Э. Капуста брокколи как источник биологически активных веществ // *Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*. 2020. Т. 28. С. 182–187. doi: 10.30679/2587-9847-2020-28-182-187
- 29 Saghiri M.A., Asatourian A., Ershadifar S., Moghadam M.M. et al. Vitamins and regulation of angiogenesis: [A, B1, B2, B3, B6, B9, B12, C, D, E, K] // *Journal of Functional Foods*. 2017. V. 38. P. 180–196. doi: 10.1016/j.jff.2017.09.005
- 30 Захарченко А.Е., Лазовская В.В., Поддубная П.В. Витамины и их роль в обмене веществ // *E-Scio*. 2021. Т. 53. № 2. С. 621–631.
- 31 Lamy T., Carceles O., Doussy Y., Formet C. et al. Concentrations et épurations des vitamines B1, C et PP en hémodiafiltration // *Néphrologie & Thérapeutique*. 2016. V. 12. № 5. P. 303. doi: 10.1016/j.nephro.2016.07.040
- 32 Sadok I., Jędruchiewicz K., Stanisewska M. Quantification of nicotinic acid, kynurenine, and kynurenine acid in poultry meat by validated liquid chromatography-single quadrupole mass spectrometry method // *LWT*. 2022. V. 163. P. 113582. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113582
- 33 Jacobs P., Wood L. Vitamin B5 // *Disease-a-Month*. 2003. V. 49. № 11. P. 664–665. doi: 10.1016/j.disamonth.2003.09.007
- 34 Patle T.K., Shrivas K., Patle A., Patel S. et al. Simultaneous determination of B1, B3, B6 and C vitamins in green leafy vegetables using reverse phase-high performance liquid chromatography // *Microchemical Journal*. 2022. V. 176. P. 107249. doi: 10.1016/j.microc.2022.107249
- 35 Ren J., Liang J., Wang J., Yin B. et al. Vascular benefits of vitamin C supplementation against fine particulate air pollution in healthy adults: A double-blind randomised crossover trial // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022. V. 241. P. 113735. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.113735

- 36 Vargas L., Kapoor R., Nemzer B., Feng H. Application of different drying methods for evaluation of phytochemical content and physical properties of broccoli, kale, and spinach // *LWT*. 2022. V. 155. P. 112892. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112892
- 37 Бабухадия К.Р., Ермолаев А.О. Исследование творожной массы, обогащенной растительными добавками // Вестник КрасГАУ. 2021. Т. 176. № 11. С. 233–239.
- 38 Мелибоева Ш.Ш., Мусаева Д.М., Шарипова Э.М., Болтаев М.М. Ботаническая характеристика лекарственного растения «брокколи», фармакологические свойства и химический состав лекарственного растительного сырья «*Brassica oleracea*» // Вестник науки и образования. 2020. Т. 102. № 24. С. 98–102.
- 39 Лисин П.А., Ефремова Н.В. Оценка нутриентной сбалансированности творожной массы с кедровыми орехами // Достижения и перспективы научно-инновационного развития АПК: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием. Курган, 2020. С. 488–491.
- 40 Розикова З.З., Серова О.П. Творог национальный с растительным наполнителем // Перспективные аграрные и пищевые инновации: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2019. С. 109–116.


## References

- 1 Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases. 2013–2020. World Health Organization; Geneva, Switzerland, 2013.
- 2 Barbarash O.L., Artamonova G.V., Indukaeva E.V., Maksimov S.A. International epidemiological study of non-communicable diseases in Russia: research protocol. Complex problems of cardiovascular diseases. 2018. vol. 7. no. 4. pp. 128–135. doi: 10.17802/2306-1278-2018-7-4-128-135
- 3 Saha S.K., Lee S.B., Won J., Choi H.Y. et al. Correlation between Oxidative Stress, Nutrition, and Cancer Initiation. *Int. J. Mol. Sci.* 2017. vol. 18. no. 8. pp. 1544. doi: 10.3390/ijms18071544
- 4 Decree of the President of the Russian Federation No. 204 "On National goals and strategic objectives of the Development of the Russian Federation for the period up to 2024" from 07.05.2018. 2018. 19 p. (in Russian).
- 5 Chacko S.M., Thambi P.T., Kuttan R., Nishigaki I. Beneficial effects of green tea: A literature review Chinese. *Medicine*. 2010. vol. 5. no. 1. pp. 13. doi: 10.1186/1749-8546-5-13
- 6 Mileo A.M., Miccadei S. Polyphenols as modulator of oxidative stress in cancer disease: new therapeutic strategies *Oxidative. Medicine and Cellular Longevity*. 2016. vol. 2016. pp. 6475624.
- 7 Weiss J.F., Landauer M.R. Protection against ionizing radiation by antioxidant nutrients and phytochemicals. *Toxicology*. 2003. vol. 189. no. 1–2. pp. 1–20.
- 8 Filatov A.S., Ezergail K.V., Melnikova E.A., Melnikov A.G. New fermented milk product – cottage cheese with vegetables. *Agricultural and food innovations*. 2019. vol. 7. no. 3. pp. 56–63. (in Russian).
- 9 Shilov O.A., Shilov A.I. A new curd product with increased nutritional and biological value. *Bulletin of OrelGAU*. 2012. no. 1. pp. 152–154. (in Russian).
- 10 Utebayeva A.A., Bakhtybekova A.R., Alibekov R.S., Sysoeva M.A. Development of fermented milk product with functional food additives. *New technologies*. 2016. no. 2. pp. 33–39. (in Russian).
- 11 Mansour A., Shekib L., Elshimy N., Sharara M. Biological Evaluation of Raw and Steamed Broccoli and Cauliflower as Sources of Dietary Fibers. *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2017. vol. 8. no. 4. pp. 185–190.
- 12 Bawajeeh A.O., Albar S.A., Zhang H., Zulyniak M.A. et al. Impact of Taste on Food Choices in Adolescence – Systematic Review and Meta Analysis *Nutrients*. 2020. vol. 12. no.7. pp. 1–17.
- 13 Corsello A., Pugliese D., Gasbarrini A., Armuzzi A. Diet and Nutrients in Gastrointestinal Chronic Diseases. *Nutrients*. 2020. vol. 12. no. 9. pp. 2693. doi: 10.3390/nu12092693
- 14 Mikkelsen K., Prakash M.D., Kuol N., Nurgali K., et al. Anti-Tumor Effects of Vitamin B2, B6 and B9 in Promonocytic Lymphoma Cells. *Int J Mol Sci.* 2019. vol. 20. no. 15. pp. 3763–3781.
- 15 Akhmedzhanova Z.I., Zhyemuratova G.K., Danilova E.A., Urnova D.M. et al. Macro – and microelements in the vital activity of the body and their relationship with the immune system (literature review). *Journal of Theoretical and Clinical Medicine*. 2020. no. 1. pp. 16–21. (in Russian).
- 16 Perdana B.A., Chaidir Z., Kusnanda A.J., Dharma A. et al. Omega-3 fatty acids of microalgae as a food supplement: A review of exogenous factors for production enhancement. *Algal Research*. 2021. vol. 60. pp. 102542. doi: 10.1016/j.algal.2021.102542
- 17 Huseynova B.M., Mukailov M.D. Features of the extraction of nutrients from the fruits of rowan, thorn and rosehip *News of the Timiryazev. Agricultural Academy*. 2018. no. 1. pp. 109–117. doi: 10.26897/0021-342X-2018-1-109-117 (in Russian).
- 18 Moskvina N.A., Golubtsova Yu.V. Methodological aspects of quality control of dairy products with vegetable additives. *Technology and technology of food production*. 2019. vol. 49. no. 1. pp. 32–42. doi: 10.21603/2074-9414-2019-1-32-42 (in Russian).
- 19 Misteneva S.Yu., Savenkova T.V., Demchenko E.A., Shcherbakova N.A. et al. The relevance of creating specialized confectionery products for feeding children over three years old. *Technique and technology of food production*. 2020. vol. 50. no. 2. pp. 282–295. doi: 10.21603/2074-9414-2020-2-282-295 (in Russian).
- 20 Costa C., Lucera A., Marinelli V., Conte A. Influence of different by-products addition on sensory and physicochemical aspects of Primosale cheese. *J Food Sci Technol*. 2018. no. 55. pp. 4174–4183.
- 21 Vlasova Zh. A., Akaev A.A. Biotechnology of cottage cheese production using sourdough based on cultures of local strains of lactobacilli *News of the Gorsky State. Agrarian University*. 2019. vol. 56. no. 1. pp. 173–176. (in Russian).
- 22 Anisimova E.A., Yarullina D.R., Ilyinskaya O.N. Antagonistic activity of lactobacilli isolated from natural econish. *Microbiology*. 2017. vol. 86. no. 6. pp. 696–702. doi: 10.7868/S0026365617060052 (in Russian).
- 23 Vostrikova N.L., Kuznetsova O.A., Kulikovskiy A.V. Methodological aspects of lipid extraction from biological matrices. *Theory and practice of meat processing*. 2018. no. 2. pp. 4–21. (in Russian).
- 24 Parsa A., Salout S.A. Investigation of the antioxidant activity of electrosynthesized polyaniline/reduced graphene oxide nanocomposite in a binary electrolyte system on ABTS and DPPH free radicals. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2016. vol. 760. pp. 113–118. doi: 10.1016/j.jelechem.2015.11.021
- 25 Li J., Lu X., Ju W., Li J. et al. Seasonal changes of leaf chlorophyll content as a proxy of photosynthetic capacity in winter wheat and paddy rice. *Ecological Indicators*. 2022. vol. 140. pp. 109018. doi: 10.1016/j.ecolind.2022.109018
- 26 Shen Y., Chen M., Hong J., Xiong W. et al. Identification and characterization of tsyl1, a thermosensitive chlorophyll-deficient mutant in rice (*Oryza sativa*). *Journal of Plant Physiology*. 2022. vol. 277. pp. 153782. doi: 10.1016/j.jplph.2022.153782
- 27 Porter K., Lodge J.K. Determination of selected water-soluble vitamins (thiamine, riboflavin, nicotinamide and pyridoxine) from a food matrix using hydrophilic interaction liquid chromatography coupled with mass spectroscopy. *Journal of Chromatography B*. 2021. vol. 1171. pp. 122541. doi: 10.1016/j.jchromb.2021.122541

- 28 Prichko T.G., Germanova M.G., Kazakhmedov R.E. Broccoli cabbage as a source of biologically active substances. Scientific works of the North Caucasus Federal Scientific. Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking. 2020. vol. 28. pp. 182–187. doi: 10.30679/2587–9847–2020–28–182–187 (in Russian).
- 29 Saghir M.A., Asatourian A., Ershadifar S., Moghadam M.M. et al. Vitamins and regulation of angiogenesis: [A, B1, B2, B3, B6, B9, B12, C, D, E, K]. Journal of Functional Foods. 2017. vol. 38. pp. 180–196. doi: 10.1016/j.jff.2017.09.005
- 30 Zakharchenko A.E., Lazovskaya V.V., Poddubnaya P.V. Vitamins and their role in metabolism. E-Scio. 2021. vol. 53, no. 2. pp. 621–631. (in Russian).
- 31 Lamy T., Carceles O., Doussy Y., Formet C. et al. Concentrations et épurations des vitamines B1, C et PP en hémodiafiltration. Néphrologie & Thérapeutique. 2016. vol. 12, no. 5. pp. 303. doi: 10.1016/j.nephro.2016.07.040
- 32 Sadok I., Jędruchiewicz K., Staniszevska M. Quantification of nicotinic acid, kynurenine, and kynurenine acid in poultry meat by validated liquid chromatography-single quadrupole mass spectrometry method. LWT. 2022. vol. 163. pp. 113582. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113582.
- 33 Jacobs P., Wood L. Vitamin B5. Disease-a-Month. 2003. vol. 49, no. 11. pp. 664–665. doi: 10.1016/j.disamonth.2003.09.007
- 34 Patle T.K., Shrivastava K., Patle A., Patel S. et al. Simultaneous determination of B1, B3, B6 and C vitamins in green leafy vegetables using reverse phase-high performance liquid chromatography. Microchemical Journal. 2022. vol. 176. pp. 107249. doi: 10.1016/j.microc.2022.107249
- 35 Ren J., Liang J., Wang J., Yin B. et al. Vascular benefits of vitamin C supplementation against fine particulate air pollution in healthy adults: A double-blind randomised crossover trial. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2022. vol. 241. pp. 113735. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.113735
- 36 Vargas L., Kapoor R., Nemzer B., Feng H. Application of different drying methods for evaluation of phytochemical content and physical properties of broccoli, kale, and spinach. LWT. 2022. vol. 155. pp. 112892. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112892
- 37 Babukhadia K.R., Ermolaev A.O. Study of curd mass enriched with vegetable additives. Bulletin of KrasGAU. 2021. vol. 176, no. 11. pp. 233–239. (in Russian).
- 38 Meliboeva Sh.Sh., Musaeva D.M., Sharipova E.M., Boltaev M.M. Botanical characteristics of the medicinal plant "broccoli", pharmacological properties and chemical composition of medicinal plant raw materials "Brassica oleracea". Bulletin of Science and Education. 2020. vol. 102, no. 24. pp. 98–102. (in Russian).
- 39 Lisin P.A., Efremova N.V. Assessment of the nutrient balance of cottage cheese with pine nuts. Achievements and prospects of scientific and innovative development of the agro-industrial complex: materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference with international participation. Kurgan, 2020. pp. 488–491. (in Russian).
- 40 Rozikova Z.Z., Serova O.P. National cottage cheese with vegetable filler. Promising agricultural and food innovations: materials of the International scientific and practical conference. Volgograd, 2019. pp. 109–116.

## Сведения об авторах


**Екатерина Е. Воробьева** магистрант, кафедра бионанотехнология, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, 89515923860k@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6362-7589>


**Варвара И. Минина** д.б.н., зав. кафедрой, кафедра генетики и фундаментальной медицины, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, vminina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3485-9123>


**Ольга О. Соболева** ведущий инженер-технолог, лаборатория цитогенетики, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, пр. Советский, 18, г. Кемерово, 650066, Россия, soboleva.olga88@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7183-6647>

**Ирина С. Милентьева** д.т.н., доцент, кафедра бионанотехнология, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, irazumnikova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

**Ольга А. Неверова** д.б.н., директор, институт биологии, экологии и природных ресурсов, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, neverova@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0309-5709>

## 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.E. Vorobeva** master student, bionanotechnology department, Kemerovo State University, Krasnaya Street, 6 Kemerovo, 650000, Russia, 89515923860k@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6362-7589>


**Varvara I. Minina** Dr. Sci. (Biol.), head of the department, genetics and fundamental medicine department, Kemerovo State University, Krasnaya Street, 6 Kemerovo, 650000, Russia, vminina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3485-9123>


**Olga A. Soboleva** leading engineer, laboratory of cytogenetics, The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the RAS, Sovetsky av., 18, Kemerovo, 650000, Russia, soboleva.olga88@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7183-6647>

**Irina S. Milentyeva** Dr. Sci. (Engin.), associate professor, bionanotechnology department, Kemerovo State University, Krasnaya Street, 6 Kemerovo, 650000, Russia, irazumnikova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

**Olga A. Neverova** Dr. Sci. (Biol.), director, Institute of Biology, Ecology and Natural Resources, Kemerovo State University, Krasnaya Street, 6 Kemerovo, 650000, Russia, neverova@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0309-5709>

## Contribution



review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 06/10/2022	После редакции 02/11/2022	Принята в печать 22/11/2022
Received 06/10/2022	Accepted in revised 02/11/2022	Accepted 22/11/2022

## Совершенствование биотехнологии симбиотического бактериального концентрата

Ирина В. Бояринева<sup>1</sup> boyarinevaiv@ya.ru  0000-0003-4791-884X  
Ирина С. Хамагаева<sup>2</sup> ikhamagaeva@mail.ru  0000-0003-4294-5857



<sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, 690922, Россия

<sup>2</sup> Восточно-Сибирский государственный технологический университет технологий и управления, ул. Ключевская, 40 в, г. Улан-Удэ, 670013, Россия

**Аннотация.** В сфере пищевых технологий в настоящее время вопрос получения бактериальных концентратов с высокой урожайностью и жизнеспособностью микробных клеток является актуальным вопросом. Целенаправленное регулирование технологических параметров изготовления бактериальных препаратов оказывает существенное влияние на их качество и, следовательно, на качество готовых пищевых продуктов. В статье представлены результаты исследований по совершенствованию технологии жидкого бактериального концентрата на основе симбиотической закваски для хлебопекарного производства. Этот бактериальный концентрат состоит из консорциума микроорганизмов, характерных для ферментационной микрофлоры ржаных заквасок. Определена оптимальная доза внесения инокулята с целью наращивания биомассы симбиотической закваски. Особенность технологии – принципиально новый подход к подготовке инокулята и получению биомассы симбиотической закваски. Особое внимание при производстве симбиотического концентрата было уделено оптимизации состава питательной среды и созданию условий для роста мезофильных лактобактерий и дрожжей, не сбраживающих лактозу, характерной для бродильной микрофлоры, используемой в хлебопекарном производстве. Для получения биомассы используется простая в приготовлении и дешевая питательная среда на основе творожной сыворотки; в качестве инокулята используется симбиотическая закваска, близкая к естественной закваске для получения ржаного хлеба; благодаря сбалансированному составу среды интенсифицируется процесс накопления биомассы; микробная биомасса характеризуется высоким титром жизнеспособных клеток. Установлена высокая выживаемость клеток в условиях инфракрасной сушки. Полученный концентрат симбиотической закваски обладает высокой ферментативной активностью, хорошей подъемной силой и имеет высокий титр мезофильных лактобактерий и дрожжей, не сбраживающих лактозу.

**Ключевые слова:** закваска, концентрат симбиотической закваски, консорциум, питательная среда, биомасса.

## Improving the biotechnology of symbiotic bacterial concentrate

Irina V. Boyarineva<sup>1</sup> boyarinevaiv@ya.ru  0000-0003-4791-884X  
Irina S. Khamagaeva<sup>2</sup> ikhamagaeva@mail.ru  0000-0003-4294-5857

<sup>1</sup> Far Eastern Federal University, Ajax, 10, Russian Island, Vladivostok, 690922, Russia

<sup>2</sup> East Siberian State Technological University of Technology and Management, Klyuchevskaya str., 40 v, Ulan-Ude, 670013, Russia

**Abstract.** In the field of food technology, it is currently important to obtain bacterial concentrates with high yield and viability of microbial cells. Purposeful regulation of the technological parameters of the production of bacterial preparations has a significant impact on their quality and on the quality of finished food products. The results of research on improving the technology of liquid bacterial concentrate based on symbiotic starter culture for bakery production are presented. This bacterial concentrate consists of a consortium of microorganisms characteristic of the fermentation microflora of rye starter cultures. The optimal dose of inoculate application was determined in order to increase the biomass. A feature of the technology is a new approach to inoculate preparation and biomass production. In the production of symbiotic concentrate, it is important to optimize the composition of the nutrient medium, to create conditions for the growth of mesophilic lactobacilli and yeast that do not ferment lactose, characteristic of the fermentation microflora used in bakery production. To obtain biomass, a simple and cheap nutrient medium based on curd whey is used; the inoculum is a natural symbiotic starter culture for rye bread; due to the balanced composition of the medium, the process of biomass accumulation is intensified; biomass is characterized by a high titer of viable cells. A high survival rate of cells under infrared drying conditions has been established. The starter concentrate has high enzymatic activity, good lifting power, has a high titer of mesophilic lactobacilli and yeast that do not ferment lactose.

**Keywords:** starter culture, symbiotic starter concentrate, consortium, nutrient medium, biomass.

### Введение

Одной из важнейших задач производства биопрепаратов является совершенствование методов культивирования, что обеспечивается разработкой новых питательных сред и совершенствованием режимов культивирования, позволяющих получить высокое количество клеток микроорганизмов в концентрате и выход биомассы.

Для цитирования

Бояринева И.В., Хамагаева И.С. Совершенствование биотехнологии симбиотического бактериального концентрата // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 89–95. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-89-95

For citation

Boyarineva I.V., Khamagaeva I.S. Improving the biotechnology of symbiotic bacterial concentrate. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 89–95. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-89-95

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

Поскольку потребности микроорганизмов чрезвычайно разнообразны, нельзя составить универсальную среду, оптимальную для роста всех микроорганизмов. Существуют самые различные по составу и технике приготовления питательные среды. Применяются всевозможные естественные и искусственные субстраты, начиная от простой водопроводной воды и солевых растворов до сложных экстрактов из зародышей животных и растений, от отбросов (навоз) до полноценных белков человека и животных.

Для размножения любой культуры необходимо обеспечить подходящее биофизическое окружение. Умелое обращение с биофизическими и биологическими факторами приобретает особую важность в получении накопительных культур и последующего выделения микроорганизмов в виде чистой культуры. Температура, аэрация и давление определяются условиями культивирования. Все эти факторы влияют на скорость роста, выход биомассы, метаболизм и химический состав бактерий [1].

Важную роль в процессе культивирования или выращивания микроорганизмов при этом играет активность посевного материала. Инокулят должен обладать высокой биохимической активностью, использование которого позволит интенсифицировать процесс наращивания клеток и получить биомассу с высоким титром бактерий [2].

В ходе создания поликомпонентных микробных препаратов стоит учитывать не только антагонистическую активность или ростостимулирующие свойства полезных бактерий, но также и их биосовместимость между собой. Высокая степень совместимости штаммов непосредственно влияет на возможность применения, эффективность и стабильность разрабатываемого продукта [3, 4]. Важно, чтобы культуры в многостаммовом биопреparate не вступали в конкурентные взаимоотношения между собой, а пребывали в нейтральном или синергичном взаимодействии [5].

При подборе питательной среды для микробного консорциума первоочередной задачей является обеспечение роста лактозонеусваивающих дрожжей и мезофильных лактобактерий [6].

Дрожжи и некоторые представители лактобактерий могут проявлять активность по отношению к другим углеводам помимо лактозы. Известно, что в технологии приготовления хлеба из ржаной муки применимы закваски с использованием чистых культур лактобактерий и дрожжей. В состав заквасок ржаной муки входят такие лактобактерии и дрожжи, как

*Lactobacillus plantarum*, *L. brevis*, *L. delbrueckii*, *L. fermentum*, *Saccharomyces cerevisiae*. Известно, что ржаная мука обладает высокой биологической ценностью и характеризуется большим удельным весом в составе водорастворимого белково-углеводного комплекса [7].

В процессе ферментации закваски температура выступает в качестве основного фактора, влияющего на динамику микробного сообщества и кинетику образования метаболитов. Более высокие температуры вызывают сдвиг в сторону увеличения содержания молочной кислоты, тем самым повышая кислотность закваски. Гомоферментативные и факультативно гетероферментативные виды молочнокислых бактерий (LAB), принадлежащие, например, к группе *Lactobacillus delbrueckii*, часто преобладающая в заквасках, приготовленных при повышенных температурах, вызывает быстрое снижение pH водно-мучной питательной смеси, главным образом, за счет образования молочной кислоты. Гетероферментативные типы дрожжи, как правило, преобладают в заквасках, которые выдерживаются при более низких температурах и в течение длительных периодов брожения, образуя смесь молочной, уксусной кислот и/или этанола [8].

Таким образом, технология получения бактериального концентрата зависит от многих факторов.

Необходимо совершенствовать производственный цикл сброженной закваски путем поиска взаимосвязи между количественным составом рецептурных компонентов, технологическими параметрами постадийного приготовления сброженной закваски и ее биотехнологическими свойствами для выявления оптимальных диапазонов варьирования, обеспечивающие требуемый качественный и количественный микробный состав [9].

Существующая традиционная технология приготовления ржаного хлеба и сортов ржано-пшеничного хлеба предусматривает использование жидких заквасок, выращенных на чистых культурах микроорганизмов по трехфазной схеме цикла разведения и поддерживаемых непрерывным периодическим освежением. Эта технология слишком трудоемкая.

В связи с этим, актуальным является создание концентрированной закваски с высокими биотехнологическими свойствами, использование которой позволит интенсифицировать бродильные процессы и значительно упростить технологию приготовления ржаного хлеба.



**Цель работы** – разработать технологию бактериального концентрата для хлебопекарного производства, используя механизм гетероферментативного брожения кефирной грибковой закваски.

### Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводились на кафедре «Технология молочных продуктов. Товароведение и экспертиза товаров», в проблемной научно-исследовательской лаборатории ВСГУТУ. Объектом исследований служила кефирная грибковая закваска. Морфологию микрофлоры закваски изучали путем приготовления препаратов, окрашенных метиленовым синим и по Граму с последующим микропированием в иммерсионной системе с объективом 90 с нанесением капель кедрового масла. Количество лактозных дрожжей определяли на картофельно-лактозном агаре методом предельных разведений. Количество дрожжей, не сбраживающих лактозу, определяли на картофельно-сахарозном агаре методом предельных разведений. Общее количество дрожжей в закваске определяли методом предельных разведений с последующим посевом в чашках Петри со средой Сабуро.

Количественный учет термофильных и мезофильных лактобактерий проводили на среде «Бактофок». Состав среды: Бактофок-МК 20,0 г; натрия хлорид 5,0 г; глюкоза 1,0 г; агар микробиологический 13,0 г; вода дистиллированная 1000 см<sup>3</sup>. Все ингредиенты растворяют в воде, прибавляют замоченный заранее агар, нагревают до полного его расплавления, устанавливают pH=7,3±0,1, фильтруют через ватно-марлевый фильтр, разливают во флаконы и стерилизуют при температуре (121±1)°C в течение 15 мин. Хранят при температуре 4–10 °C.

### Результаты и обсуждение

Ранее была оптимизирована питательная среда для получения бактериального концентрата симбиотической закваски с учетом сбалансированного роста мезофильных лактобактерий и дрожжей, не сбраживающих лактозу. Для наращивания биомассы симбиотической закваски определена оптимальная доза инокулята 5% от объема питательной среды. Доказано, что внесение в питательную среду 15% картофельного отвара и 0,8% агара ускоряет рост дрожжей и обеспечивает высокий выход биомассы симбиотической закваски [10].

Следующие экспериментальные исследования посвящены разработке технологии бактериального концентрата симбиотической закваски в жидкой и сухой формах.

Технологический процесс производства концентрата состоит из следующих основных стадий: приготовление закваски, приготовление картофельного отвара, приготовление питательной среды, наращивание биомассы симбиотической закваски, отделение культуральной жидкости от суспензии клеток, центрифугирование, розлив, укупорка, сушка, маркировка и хранение.

Средой для получения биомассы симбиотической закваски служит сыворотка творожная с добавлением буферных солей и стимуляторов роста. Сыворотку предварительно осветляют. Для этого ее нагревают до температуры 92–95 °C, добавляют 40%-ный раствор гидроокиси натрия, выдерживают 10–15 мин и фильтруют. В подготовленную сыворотку вносят картофельный отвар, натрий лимоннокислый, калий фосфорнокислый, магний сернокислый, сахарозу, аскорбиновую кислоту, агар и устанавливают pH среды в пределах 6,0–6,5.

Компонентный состав питательной среды представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Компонентный состав питательной среды

Table 1.

Component composition of the nutrient medium

Сырье и основные материалов Raw materials and base materials	Расход Volume
Сыворотка творожная   Curd whey	850 мл
Отвар картофельный   Potato broth	150 мл
Натрий лимоннокислый трехзамещенный Sodium citric acid tri – substituted	1,0 г/л
Калий фосфорнокислый однозамещенный   Potassium phosphate monosubstituted	0,5 г/л
Магний сернокислый   Magnesium sulphate	0,1 г/л
Аскорбиновая кислота   Ascorbic acid	0,1 г/л
Агар микробиологический   Microbiological agar	0,8 г/л
Сахароза   Sucrose	0,5 г/л

Готовую среду стерилизуют при температуре (121±1)°C в течение 30–40 минут, затем охлаждают до температуры (30±2)°C.

Приготовление картофельного отвара проводится следующим образом: очищенный и нарезанный ломтиками картофель массой 200 г. заливают 1 л дистиллированной воды и кипятят в течение 1 часа. Отвар фильтруют, к фильтрату добавляют воду до первоначального объема, устанавливают pH 3,5, разливают и стерилизуют при температуре 121 °C в течение 10 минут. В охлажденную до температуры (30±1)°C питательную среду вносят картофельный отвар в количестве 15%, затем инокулят в количестве 5% от массы среды. Среда с инокулятом тщательно перемешивают и нейтрализуют pH до значений 6,0–6,5.

Наращивание биомассы симбиотической закваски проводят в условиях периодического культивирования при двукратной нейтрализации и перемешивании среды через 12 и 24 часа

культивирования. Продолжительность культивирования составляет  $24 \pm 2$  часа при температуре  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  (рисунок 1).

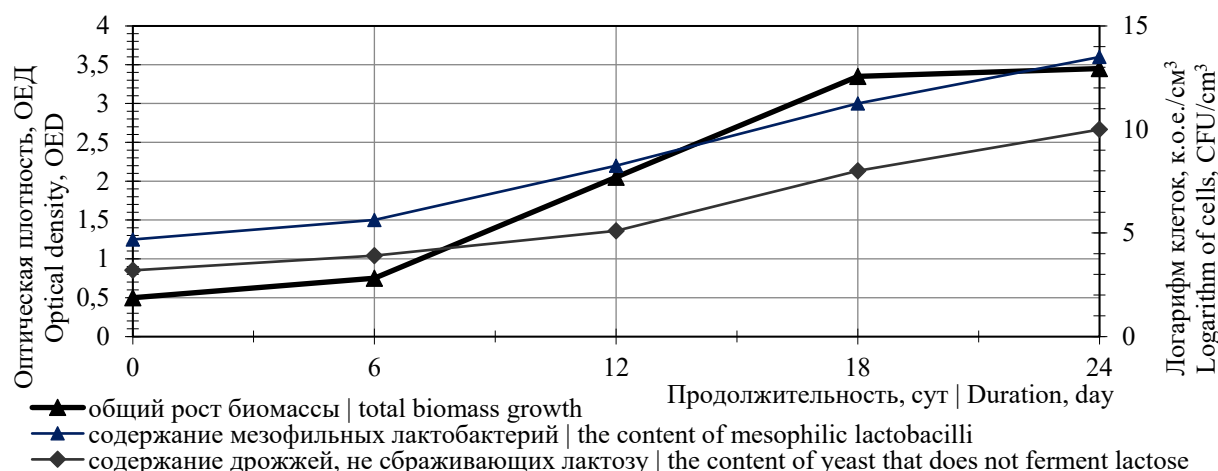


Рисунок 1. Влияние условий культивирования на рост биомассы и количественное содержание мезофильных лактобактерий и дрожжей, не сбраживающих лактозу

Figure 1. Influence of cultivation conditions on biomass growth and quantitative content of mesophilic lactobacilli and yeast that do not ferment lactose

После окончания процесса культивирования сливают верхний слой отделившейся сыворотки, оставшуюся биомассу охлаждают до температуры  $(5 \pm 3)^\circ\text{C}$  и центрифугируют при частоте оборотов 3500 об/с продолительно-

стью 15 минут. Таким образом, суспензию клеток отделяют от культуральной жидкости с целью получения жидкого бактериального концентрата. Качественные показатели жидкого бактериального концентрата представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Качественная характеристика бактериального концентрата

Table 2.

Qualitative characteristics of bacterial concentrate

Показатель   Indicator	Характеристика   Characteristic
Консистенция и внешний вид   Consistency and appearance	Однородная, допускается отделение сыворотки
Цвет   Colour	От белого до светло-желтого
Активная кислотность, pH   Active acidity, pH	5,5–7,0
Количество мезофильных лактобактерий, к.о.е./см³, не менее The number of mesophilic lactobacilli, K.F.U./cm³, not less	$1 \times 10^{10}$
Количество дрожжей, не сбраживающих лактозу, к.о.е./см³, не менее The amount of yeast that does not ferment lactose, K.F.U./cm³, not less	$1 \times 10^{10}$
Объем продукта (см³), в котором не допускается: The volume of the product (cm³) in which it is not allowed:	
– БГКП (коли-формы)   BGKP (coliforms)	10
– S. aureus	10
– патогенные микроорганизмы   pathogenic microorganisms (в том числе сальмонеллы)   (including salmonella)	50
Плесени, к.о.е./см³, не более   Mold, K.F.U./cm³, no more	10

Данные, представленные в таблице 2, показывают, что бактериальный концентрат характеризуется высоким титром жизнеспособных клеток мезофильных лактобактерий и дрожжей, не сбраживающих лактозу.

Анализ литературных данных показывает, что как слишком раннее, так и слишком позднее отделение клеток отрицательно сказывается на жизнеспособности микроорганизмов, а также на активности бактериальных концен-

тратов. Большинство исследователей рекомендуют отделять клетки молочнокислых бактерий в конце логарифмической фазы или перед началом стационарной фазы [11].

Использование сухих заквасок позволяет исключить сложные этапы приготовления и поддержания живой закваски, требующие контроля многочисленных параметров и специального оборудования, а также обеспечивает вкус и аромат, свойственные длительному холодному брожению [12].

Нами изучена возможность создания сухой закваски на основе мучного полуфабриката с использованием жидкого концентрата симбиотической закваски, включающий консорциум лактобактерий и дрожжей.

Основные требования, предъявляемые к сухим закваскам – это сохранение в них после сушки большого количества жизнеспособных клеток дрожжей и молочнокислых бактерий, обеспечивающих активное кислотонакопление и хорошую подъемную силу. На следующем этапе были уточнены и выбраны оптимальные технологические параметры подготовки закваски перед сушкой, способствующие интенсивному развитию микрофлоры и максимальному накоплению микробных клеток.

Симбиотическую закваску культивировали на заварке из ржаной муки, затем смешивали с мукой до влажности (28–30)% и доводили кислотность до (35–38)°Н.

Характеристика ржаной закваски представлена в таблице 3.

Важное значение для получения активной сухой закваски имеет способ сушки. Необходимо отметить, что ржаные закваски – сложная биологическая система, состоящая из микробов разных классов: прокариотов и эукариотов; и для каждого вида микроорганизмов необходимо подобрать определенный режим высушивания.

Нами был выбран метод сушки на ИК-установке при температуре (37–40)°С с интенсивным вентилированием. Высушивание проводили до влажности биоматериала 6–8%. Сухую биомассу после сушки измельчали на коллоидной мельнице до порошкообразного состояния.

В дальнейшем исследовали биохимическую активность сухой закваски (таблица 4).

Таблица 3.

Физико-химические и микробиологические показатели закваски перед сушкой

Table 3.

Physico-chemical and microbiological parameters of the starter before drying

Показатель Indicator	Характеристика Characteristic
Массовая доля влаги, %, не более   Mass fraction of moisture, %	28±2
Кислотность, °Н   Acidity after fermentation, °N	38±1
Подъемная сила, мин.   Lifting force, min	20±2
Количество мезофильных лактобактерий, к.о.е. в 1 см <sup>3</sup>   Amount of mesophilic lactobacilli, K.F.U./cm <sup>3</sup>	8×10 <sup>10</sup>
Количество дрожжей, не сбраживающих лактозу, к.о.е. в 1 см <sup>3</sup>   Amount of not ferment lactose yeast K.F.U./cm <sup>3</sup>	4×10 <sup>10</sup>

Таблица 4.

Физико-химические и микробиологические показатели сухой симбиотической закваски

Table 4.

Physico-chemical and microbiological parameters of dry symbiotic starter culture

Показатель Indicator	Характеристика Characteristic
Массовая доля влаги, %, не более   Mass fraction of moisture, %	7±1
Кислотность, °Н   Acidity after fermentation, °N	12
Подъемная сила, мин.   Lifting force, min	15–18
Количество мезофильных лактобактерий, к.о.е. в 1 см <sup>3</sup>   Amount of mesophilic lactobacilli, K.F.U./cm <sup>3</sup>	5×10 <sup>9</sup>
Количество дрожжей, не сбраживающих лактозу, к.о.е. в 1 см <sup>3</sup>   Amount of not ferment lactose yeast K.F.U./cm <sup>3</sup>	3×10 <sup>8</sup>

Данные, представленные в таблице 4, свидетельствуют, что сушка на ИК-установке обеспечивает хорошую выживаемость мезофильных лактобактерий и дрожжей. Вероятно, это обусловлено симбиотическими взаимоотношениями мезофильных лактобактерий и дрожжей, что способствует выживаемости последних. Кроме того, высокомолекулярные полисахариды и слизи, содержащиеся в ржаной муке, оказывают защитное действие на микроорганизмы при сушке.

### Заключение

Проведенные исследования показали возможность получения активной сухой закваски

на основе использования концентрата симбиотической закваски из мучного полуфабриката, содержащего одновременно дрожжи и молочнокислые бактерии.

Созданы условия для роста мезофильных лактобактерий и дрожжей, не сбраживающих лактозу, характерной для бродильной микрофлоры, используемой в хлебопекарном производстве. Готовый сухая бактериальная закваска из ржаной муки представляет собой сыпучий биопродукт приятного кисломолочного вкуса и запаха, свойственного запаху биологической ржаной закваски, и высокое количество жизнеспособных клеток мезофильных лактобактерий и дрожжей.

Поэтому сухую закваску можно использовать для производства ржаной закваски на производстве, минуя стадию разводочного цикла. Расход концентрата симбиотической закваски на мучном полуфабрикате благодаря ее высокой кислотности составляет 5% к массе муки ржаной закваски.

Использование при производстве ржаного хлеба концентрата симбиотической закваски улучшает его качественные характеристики: вкус, аромат, окраску корки, сроки хранения. Это объясняется стабильным составом и высокой биохимической активностью микрофлоры концентрата.

## Литература

- 1 Тихонов И.В., Рубан Е.А., Грязнева Т.Н., Самуйленко А.Я. и др. Биотехнология; под ред. акад. РАСХН Е.С. Воронина. СПб.: ГИОРД, 2005. 792 с.
- 2 Нагызбеккызы Э. и др. Подбор оптимальных параметров культивирования штаммов молочнокислых бактерий, перспективных в качестве стартерных культур при разработке закваски прямого внесения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 7. С. 14–18.
- 3 Волкова Г.С., Куксова Е.В., Серба Е.М. Изучение биологических межштаммовых взаимодействий и ростовых свойств производственных штаммов молочнокислых бактерий // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. 2020. Т. 1. № 1(1). С. 104–109.
- 4 Ковалевская В.С. и др. Изучение биосовместимости и биотехнологических свойств молочнокислых бактерий // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2016. № 14. С. 284–288.
- 5 Малкова А.В., Иркитова А.Н., Дудник Д.Е. Биосовместимость штаммов бацилл, перспективных для включения в состав микробного биопрепарата // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова. 2022. Т. 18. № 2. С. 19–24.
- 6 Занданова Т.Н., Гоголева П.А. Подбор питательной среды для получения бактериального концентрата микробного консорциума // Вестник КрасГАУ. 2018. №5 (140).
- 7 Шелубкова Н.С. и др. Оптимизация параметров замеса макаронного теста из композитной муки // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. №. 5 (140). С. 232–239.
- 8 De Vuyst L., Van Kerrebroeck S., Leroy F. Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation // Adv. Appl. Microbiol. 2017. V. 100. P. 49–160. doi: 10.1016/bs.aambs.2017.02.003
- 9 Акулич А.В., Самуйленко Т.Д. Анализ производственного цикла заварочных отделений хлебопекарных предприятий Республики Беларусь // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. V. 4. P. 128–138. doi: 10.36107/spfr.2019.208
- 10 Бояринева И.В., Хамагаева И.С. Исследование условий культивирования микрофлоры симбиотической закваски для хлебопекарного производства // Вестник ВСГТУ. 2015. № 2. С. 74–80.
- 11 Morgan C.A., Herman N., White P.A., Vesey Morgan G. Preservation of microorganisms by drying // Journal of Microbiological Methods. 2006. V. 66 (2). P.183–193. doi: 10.1016/j.mimet.2006.02.017
- 12 Шилина А.А., Игонина Е.Д. Влияние вида закваски на скорость размножения микроорганизмов и эффективность в производственных условиях // Балтийский морской форум: материалы VIII Международного Балтийского морского форума: в 6 т., Калининград, 05–10 октября 2020 года. Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2020. С. 138–142.
- 13 Bastías D.A., Johnson L.J., Card S.D. Symbiotic bacteria of plant-associated fungi: friends or foes? // Current opinion in plant biology. 2020. V. 56. P. 1–8.
- 14 Rai A.N. CRC Handbook of symbiotic cyanobacteria. CRC Press, 2018.
- 15 Checcucci A. et al. Creation and characterization of a genomically hybrid strain in the nitrogen-fixing symbiotic bacterium *Sinorhizobium meliloti* // ACS Synthetic Biology. 2018. V. 7. №. 10. P. 2365–2378.
- 16 Krishnan M. et al. Insect gut microbiome—An unexploited reserve for biotechnological application // Asian Pacific journal of tropical biomedicine. 2014. V. 4. P. S16–S21. doi: 10.12980/APJTB.4.2014C95
- 17 Bonnet S.I. et al. The tick microbiome: why non-pathogenic microorganisms matter in tick biology and pathogen transmission // Frontiers in cellular and infection microbiology. 2017. V. 7. P. 236. doi: 10.3389/fcimb.2017.00236
- 18 Shi Y.M. et al. Global analysis of biosynthetic gene clusters reveals conserved and unique natural products in entomopathogenic nematode-symbiotic bacteria // Nature Chemistry. 2022. V. 14. №. 6. P. 701–712. doi: 10.1038/s41557-022-00923-2
- 19 Vigneron A., Masson F., Vallier A., Balmand S. et al. Insects recycle endosymbionts when the benefit is over // Current Biology. 2014. V. 24. №. 19. P. 2267–2273. doi: 10.1016/j.cub.2014.07.065
- 20 Calcott M.J., Ackerley D.F., Knight A., Keyzers R.A. et al. Secondary metabolism in the lichen symbiosis // Chemical Society Reviews. 2018. V. 47. №. 5. P. 1730–1760. doi: 10.1039/C7CS00431A


## References

- 1 Tikhonov I.V., Ruban E.A., Gryazneva T.N., Samuylenko A.Ya. et al. Biotechnology. St. Petersburg, GIORД, 2005. 792 p. (in Russian).
- 2 Nagyzbekkyzy E. et al. Selection of optimal parameters for cultivation of lactic acid bacteria strains that are promising as starter cultures in the development of direct fermentation. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2019. no. 7. pp. 14–18. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12791> (in Russian).


- 3 Volkova G.S., Kuksova E.V., Serba E.M. The study of biological inter-strain interactions and growth properties of industrial strains of lactic acid bacteria. Topical issues of the dairy industry, inter-industry technologies and quality management systems. 2020. vol. 1. no. 1(1). pp. 104–109. (in Russian).
- 4 Kovalevskaya V.S., Molodkina N.R., Timofeenko T.I. Study of biocompatibility and biotechnological properties of lactic acid bacteria. Scientific Works of the Kuban State Technological University. 2016. no. 14. pp. 284–288. (in Russian).
- 5 Malkova A.V., Irkitova A.N., Dudnik D.E. Biocompatibility of bacilli strains that are promising for inclusion in the composition of a microbial biological product. Bulletin of biotechnology and physico-chemical biology named after Yu.A. Ovchinnikov. 2022. vol. 18. no. 2. pp. 19–24. (in Russian).
- 6 Zandanova T.N., Gogoleva P.A. Selection of a nutrient medium for obtaining a bacterial concentrate of a microbial consortium. Vestnik KrasGAU. 2018. no. 5 (140). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/podbor-pitatelnoy-sredy-dlya-polucheniya-bakterialnogo-kontsentrata-mikrobnogo-konsortsiума> (in Russian).
- 7 Shelubkova N.S. et al. Optimization of the parameters of kneading pasta dough from composite flour. Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. 2018. no. 5 (140). pp. 232–239. (in Russian).
- 8 De Vuyst L., Van Kerrebroeck S., Leroy F. Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation. Adv. Appl. Microbiol. 2017. vol. 100. pp. 49–160. doi: 10.1016/bs.aambs.2017.02.003
- 9 Akulich A.V., Samuylenko T.D. Analysis of the production cycle of brewing departments of bakery enterprises of the Republic of Belarus. Storage and processing of agricultural raw materials. 2020. vol. 4. pp. 128–138. doi:10.36107/spfp.2019.208 (in Russian).
- 10 Boyarinaeva I.V., Khamagaeva I.S. Investigation of the conditions of cultivation of the microflora of symbiotic sourdough for bakery production. Vestnik VSGTU. 2015. no. 2. pp. 74–80. (in Russian).
- 11 Morgan C.A., Herman N., White P.A., Vesey Morgan G. Preservation of microorganisms by drying. Journal of Microbiological Methods. 2006. vol. 66 (2). pp.183–193. doi: 10.1016/j.mimet.2006.02.017
- 12 Shilina A.A., Igonina E.D. Influence of the type of starter culture on the rate of reproduction of microorganisms and efficiency under production conditions. Baltic Sea Forum: materials of the VIII International Baltic Sea Forum: in 6 volumes, Kaliningrad, October 05–10, 2020. Kaliningrad: Kaliningrad State Technical University, 2020. pp. 138–142. (in Russian).
- 13 Bastías D.A., Johnson L.J., Card S.D. Symbiotic bacteria of plant-associated fungi: friends or foes? // Current opinion in plant biology. 2020. vol. 56. pp. 1–8.
- 14 Rai A.N. CRC Handbook of symbiotic cyanobacteria. CRC Press, 2018.
- 15 Checcucci A. et al. Creation and characterization of a genomically hybrid strain in the nitrogen-fixing symbiotic bacterium *Sinorhizobium meliloti*. ACS Synthetic Biology. 2018. vol. 7. no. 10. pp. 2365–2378.
- 16 Krishnan M. et al. Insect gut microbiome—An unexploited reserve for biotechnological application. Asian Pacific journal of tropical biomedicine. 2014. vol. 4. pp. S16–S21. doi: 10.12980/APJTB.4.2014C95
- 17 Bonnet S.I. et al. The tick microbiome: why non-pathogenic microorganisms matter in tick biology and pathogen transmission. Frontiers in cellular and infection microbiology. 2017. vol. 7. pp. 236. doi: 10.3389/fcimb.2017.00236
- 18 Shi Y.M., Hirschmann M., Shi Y.N., Ahmed S. et al. Global analysis of biosynthetic gene clusters reveals conserved and unique natural products in entomopathogenic nematode-symbiotic bacteria. Nature Chemistry. 2022. vol. 14. no. 6. pp. 701–712. doi: 10.1038/s41557-022-00923-2
- 19 Vigneron A., Masson F., Vallier A., Balmand S. et al. Insects recycle endosymbionts when the benefit is over. Current Biology. 2014. vol. 24. no. 19. pp. 2267–2273. doi: 10.1016/j.cub.2014.07.065
- 20 Calcott M.J., Ackerley D.F., Knight A., Keyzers R.A. et al. Secondary metabolism in the lichen symbiosis. Chemical Society Reviews. 2018. vol. 47. no. 5. pp. 1730–1760. doi: 10.1039/C7CS00431A

#### Сведения об авторах

**Ирина В. Бояринаева** д.т.н., профессор, базовая кафедра «Биоэкономики и продовольственной безопасности», Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край, 690922, Россия, boyarinaevaiv@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

**Ирина С. Хамагаева** д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, ул. Ключевская, 40 в, г. Улан-Удэ, 670013, Россия, ikhamagaeva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

#### 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. Boyarinaeva** Dr. Sci. (Engin.), professor, bioeconomics and food security department, Far Eastern Federal University, Ajax, 10, Russian Island, Vladivostok, 690922, Russia, boyarinaevaiv@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

**Irina S. Khamagaeva** Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of animal products department, East Siberian State Technological University of Technology and Management, Klyuchevskaya str., 40 v, Ulan-Ude, 670013, Russia, ikhamagaeva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

#### 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 25/10/2022

После редакции 14/11/2022



Принята в печать 01/12/2022

Received 25/10/2022

Accepted in revised 14/11/2022

Accepted 01/12/2022

## Питательные и защитные факторы среды для культивирования микробного консорциума

Ирина В. Бояринева<sup>1</sup> boyarinevaiv@ya.ru  0000-0003-4791-884X  
Ирина С. Хамагаева<sup>2</sup> ikhamagaeva@mail.ru  0000-0003-4294-5857



<sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, 690922, Россия

<sup>2</sup> Восточно-Сибирский государственный технологический университет технологий и управления, ул. Ключевская, 40 в, г. Улан-Удэ, 670013, Россия

**Аннотация.** В настоящее время актуальным и перспективным в молочной отрасли является использование высокоактивных пробиотических штаммов для получения консорциумов с высоким биохимическим и технологическим потенциалом. К таким пробиотическим микроорганизмам относятся пропионовокислые бактерии и ацидофильная палочка. Создание консорциума на основе *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и *L. acidophilus* позволяет разработать специализированные пищевые продукты и биологически активные добавки с высокими пробиотическими свойствами. Получен инокулят на основе чистых культур *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и *L. acidophilus* в соотношении 2:1, который обладает высокой биохимической активностью и может обеспечить высокий уровень протекания ферментативных процессов при совместном культивировании на молочной среде. В статье представлены данные по оптимизации питательной среды на основе молочной сыворотки для получения биомассы консорциума пропионовокислых бактерий и ацидофильной палочки. Оптимальный температурный диапазон для наращивания биомассы на основе пробиотических культур (30±2)°C. В статье показаны результаты по подбору оптимального количества ионов кобальта в питательной среде. Для обеспечения нормального роста биомассы, высокой урожайности жизнеспособных клеток культур *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и *L. acidophilus* и биосинтеза витамина В<sub>12</sub> выбрана доза внесения в питательную среду хлористого кобальта 0,0025 г./л. Полученная биомасса характеризуется высоким титром жизнеспособных клеток пропионовокислых бактерий и ацидофильной палочки 10<sup>12</sup> к.о.е./см<sup>3</sup>. В биомассе активно протекает накопление витамина В<sub>12</sub>. Клеточная биомасса применима в качестве биологически активной добавки для непосредственного употребления и в молочной промышленности в качестве бактериального концентрата.

**Ключевые слова:** биомасса, консорциум, питательная среда, пропионовокислые бактерии, ацидофильная палочка.

## Nutritional and protective environmental factors for microbial consortium cultivation

Irina V. Boyarineva<sup>1</sup> boyarinevaiv@ya.ru  0000-0003-4791-884X  
Irina S. Khamagaeva<sup>2</sup> ikhamagaeva@mail.ru  0000-0003-4294-5857

<sup>1</sup> Far Eastern Federal University, Ajax, 10, Russian Island, Vladivostok, 690922, Russia

<sup>2</sup> East Siberian State Technological University of Technology and Management, Klyuchevskaya str., 40 v, Ulan-Ude, 670013, Russia

**Abstract.** Currently, the use of highly active probiotic strains for obtaining consortia with high biochemical and technological potential is relevant and promising in the dairy industry. Such probiotic microorganisms include propionic acid bacteria and Acidophilus bacillus. The creation of a consortium based on *Propionibacterium freudenreichii* Sh 85 and *L. acidophilus* makes it possible to develop specialized food products and biologically active additives with high probiotic properties. An inoculate was obtained based on pure cultures of *Propionibacterium freudenreichii* Sh 85 and *L. acidophilus* in a ratio of 2:1, which has a high biochemical activity and can provide a high level of enzymatic processes when co-cultured on a dairy medium. The nutrient medium based on whey has been optimized for obtaining the biomass of a consortium of propionic acid bacteria and Acidophilus bacillus. The optimal temperature range for biomass growth is (30±2) °C. The article shows the results of the selection of the optimal amount of cobalt ions in the nutrient medium. For normal biomass growth, high yield of viable cells of *Propionibacterium freudenreichii* Sh 85 and *L. acidophilus* cultures and vitamin B<sub>12</sub> biosynthesis, a dose of 0.0025 g/l cobalt chloride was selected. The resulting biomass is characterized by a high titer of viable cells of propionic acid bacteria and Acidophilus bacillus 10<sup>12</sup> k.f.u./cm<sup>3</sup>. The accumulation of vitamin B<sub>12</sub> is active in the biomass. Cellular biomass is applicable as a biologically active additive for direct consumption and in the dairy industry as a bacterial concentrate.

**Keywords:** biomass, consortium, nutrient medium, propionic acid bacteria, acidophilus bacillus.

### Введение

В настоящее время пробиотики на основе живых микроорганизмов (в монокультуре или в комбинации) являются наиболее разработанными и широко используемыми специфиче-

скими средствами коррекции микробной экологии человека. Следует подчеркнуть, что, подавляя патогенную микробиоту, пробиотики в противоположность антибиотикам не нарушают функционирование симбиотической микробиоты желудочно-кишечного тракта [1].

Для цитирования

Бояринева И.В., Хамагаева И.С. Питательные и защитные факторы среды для культивирования микробного консорциума // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 96–102. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-96-102

For citation

Boyarineva I.V., Khamagaeva I.S. Nutritional and protective environmental factors for microbial consortium cultivation. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 96–102. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-96-102



По мнению специалистов, наиболее перспективными являются пробиотики на основе живых микроорганизмов с установленными специфическими физиолого-биохимическими эффектами, а также генно-инженерных штаммов с заданными медико-биологическими и технологическими характеристиками.

Доказано, что антагонистические свойства пробиотических микроорганизмов, присутствующих в свежеприготовленной жидкой форме более выражены, чем у тех же штаммов, находящихся в лиофилизированном состоянии; это может быть связано с присутствием в жидких формах пробиотиков более высоких концентраций уксусной, молочной кислот, перекиси водорода, а возможно и других антагонистических и иных регулярных субстанций-метаболитов.

Но, к сожалению, микробная экология каждого человека представляет собой чрезвычайно сложную по составу экосистему, на формирование которой потребовались многие миллионы лет эволюции. Поэтому, чрезвычайно трудно разработать адекватные пробиотики для каждого индивидуума для поддержания нормальной микрофлоры на оптимальном уровне путем механического объединения отдельных чистых культур микроорганизмов. Кроме того, пробиотические микроорганизмы даже человеческого происхождения иммунологически несовместимы с реципиентом, которому они предназначены и вскоре после прекращения их назначения быстро элиминируются из организма. Все это послужило основанием разработки концепции создания пробиотиков и продуктов функционального питания на основе аутоштаммов и аутоассоциаций симбиотических микроорганизмов.

Исходя из этого, создание пробиотиков и продуктов функционального питания на основе пробиотических штаммов микроорганизмов, обладающих специфическим позитивным действием на организм человека, рассматривают как стратегическое направление, направленное на поддержание и восстановление здоровья человека.

В этом отношении заслуживают внимание штаммы *L. acidophilus* – классические пробиотики, микроорганизмы кишечного происхождения, регулярный прием которых в «терапевтических» дозах оказывает достоверное благотворное действие на жизнедеятельность отдельных тканей, органов и общее здоровье организма потребителя. Это свойство обуславливает широкое применение *L. acidophilus* в пищевой отрасли и медицине [2].

Промышленное производство ацидофильных молочных продуктов, ориентированное на диетическое и лечебно-профилактическое питание населения, началось с 30-х годов прошлого века, пик их популярности пришелся на 70-80-е годы [3]. Известно более двух десятков наименований продуктов этой группы, значительная часть их, судя по видовому составу микрофлоры, являются аналогами. Напитки содержат *L. acidophilus* в виде монокультуры или, чаще всего, в смеси с другими заквасочными микроорганизмами обычного или пробиотического назначения (лактококки, термофильный стрептококк, бифидобактерии, пропионовокислые бактерии, дрожжи, микрофлора кефирной закваски) [4].

Пропионовокислые бактерии, обладающие высоким потенциалом, интересны для использования в биотехнологии. Биологической особенностью классических пропионовокислых бактерий (по сравнению, например, с молочнокислыми бактериями) является способность продуцировать ряд метаболитов-нутрицевтиков, включая витамины группы В, в том числе фолиевую кислоту, витамин В<sub>12</sub>, и бифидогенные факторы, выделение пропионовой кислоты (пропионатов) и полипептидов, обладающих антимикробными и антимуtagenными свойствами, наличие в клетках ферментов-антиоксидантов [5–9].

Благодаря способности к продуцированию данных биологически активных веществ бактерии рода *Propionibacterium* актуально использовать как в качестве самостоятельных пробиотиков, так и в составе поликомпонентных добавок [10]. При создании многокомпонентных пробиотиков штаммы микроорганизмов должны быть совместимы по биологическим свойствам, то есть не должны подавлять друг друга как при совместном культивировании, так и в готовом продукте и усиливать синтез продуктов их метаболизма.

Несмотря на то, что существует значительное количество прописей питательных сред, до сегодняшнего дня ведутся многочисленные исследовательские работы по увеличению выхода целевых продуктов микробиологических стадий производств биопрепаратов на основе подбора составов питательных сред [11].

**Цель работы** – оптимизировать состав питательной среды и подобрать условия культивирования консорциума на основе пропионовокислых бактерий и ацидофильной палочки.



## Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводились на кафедре «Технология молочных продуктов. Товароведение и экспертиза товаров», в проблемной научно-исследовательской лаборатории ВСГУТУ. Объектами исследований служили *L. acidophilus* штамм вязкой расы ВНИМИ и пропионовокислые бактерии *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85.

Количественный учёт пропионовокислых бактерий в биомассе определяли методом предельных разведений на среде ГМС или ГМК-1 по ТУ 10-02-02-789-192-95 «Гидролизатно-молочная среда для количественного учета бифидобактерий и пропионовокислых бактерий». Идентификацию культур при совместном культивировании методом угнетения пропионовокислых бактерий антибиотиком (тетрациклином).

Определение количества клеток ацидофильной палочки осуществляли методом предельных разведений по ТУ 9229-083-00419785-97 «Гидролизованное молоко с агаром».

Витамин В<sub>12</sub> в биомассе исследовали методом спектрофотометрии. Настоящий метод определения кобаламинов заключается в отделении и промыве клеток пропионовокислых бактерий, переводе кобаламинов в водный раствор путем гидролиза, в воздействии светом на полученный гидролизат для перевода кобаламинов в оксикобаламин и определении оптической плотности при длине волны 530 нм. Оптическая плотность раствора пропорциональна содержанию кобаламина.

## Результаты и обсуждение

В ходе проведенных исследовательских работ оптимизирована питательная среда для получения биомассы консорциума пропионовокислых бактерий и ацидофильной палочки.

Для наращивания биомассы пропионовокислых бактерий и ацидофильной палочки была использована среда на основе молочной сыворотки с использованием ростовых факторов. Применение сыворотки для культивирования микроорганизмов обусловлено содержащимися в ней углеводами (моно-, олиго- и аминокислотами), липидами, минеральными солями, витаминами, органическими кислотами, ферментами и микроэлементами. Лактоза сыворотки является энергетическим субстратом для развития микроорганизмов, входящих в состав инокулята. Среда считается оптимальной, если она имеет определенные показатели pH, окислительно-восстановительного потенциала, осмотического давления и т. д.

Для поддержания буферной емкости в среду вносили натрий лимоннокислый трехзамещенный и калий фосфорнокислый однозамещенный. Поскольку пропионовокислые бактерии являются факультативными анаэробами, для загущения среды применяли агар-агар.

Известно, что микроорганизмы проявляют требовательность к наличию в питательной среде витаминов. Ацидофильная палочка испытывает потребность в рибофлавине, фолиевой кислоте и цианкобаламине. Однако, все эти витамины ацидофильная палочка может получить при совместном культивировании с пропионовокислыми бактериями, т. к. последние их синтезируют. Известно, что присутствие в среде солей кобальта увеличивает витаминсинтезирующую способность пропионовокислых бактерий [11]. Учитывая особенности синтеза витамина В<sub>12</sub> пропионовокислыми бактериями, в состав среды включили хлористый кобальт [12].

Магний принадлежит к числу весьма физиологически активных металлов. Ведущая роль Mg<sup>2+</sup> связана с гликолитическим циклом, где важное значение отводится переносу фосфатов. Довольно часто Mg<sup>2+</sup> выступает как связующее звено в ферментативных реакциях. Он принимает участие в стабилизации двойной спирали ДНК. Ионы магния играют важную роль в процессе фосфорилирования.

В качестве инокулята использовали бактериальную концентрированную закваску на основе чистых культур *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и *L. acidophilus*. Согласно технологической схеме приготовления инокулята, первоначально проводили активизацию чистых культур. Далее составляли соотношение *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и *L. acidophilus* 2:1. При подготовке молока для культивирования проводили стерилизацию при температуре 121 °C в течение 15 мин., охлаждали до температуры сквашивания (30±2)°C. В подготовленное молоко вносили 3% комбинированной бактериальной закваски для приготовления лабораторной (инокулята).

Инокулят имеет хорошие органолептические свойства, обладает умеренной кислотностью, высоким титром жизнеспособных клеток пропионовокислых бактерий и ацидофильной палочки.

Результаты по подбору компонентов состава питательной среды представлены в табл. 1.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлен компонентный состав питательной среды для культивирования *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и *L. acidophilus*, который содержит все необходимые источники питания и обладает оптимальными физико-химическими показателями.

Известно, что пропионовокислые бактерии вида *Propionibacterium freudenreichii* практически значимы как пробиотики, как

продуценты консервирующих компонентов и биологически активных веществ и прежде всего витамина В<sub>12</sub>.

Таблица 1.

Компонентный состав питательной среды

Table 1.

Component composition of the nutrient medium

Компонент	Component	Содержание, г/л	Content, g/l
Творожная сыворотка	Curd whey	996,80	
Магний хлористый	Magnesium chloride	0,30	
Натрий лимоннокислый трехзамещенный	Sodium citric acid trisubstituted	1,00	
Калий фосфорнокислый однозамещенный	Potassium phosphate monosubstituted	0,5	
Аскорбиновая кислота	Ascorbic acid	0,10	
Агар микробиологический	Microbiological agar	1,30	

Следует отметить, что синтез витамина В<sub>12</sub> зависит от условий культивирования. Известно, что корриноиды включают в группу тетрапиррольных соединений, несущих жизненно важные функции. Ионы металлов в этих соединениях находятся в комплексе с органическими лигандами, а в коферментах витамина В<sub>12</sub> атом кобальта связан с углеродом. Ко-В<sub>12</sub> – единственное металлоорганическое соединение, обнаруженное в живых организмах. Это уникальный биокатализатор. Энзиматический гемолиз Со-С связи приводит к образованию реактивных веществ. Эти вещества провоцируют протекание реакций, которые в иных случаях должны быть подавлены [13].

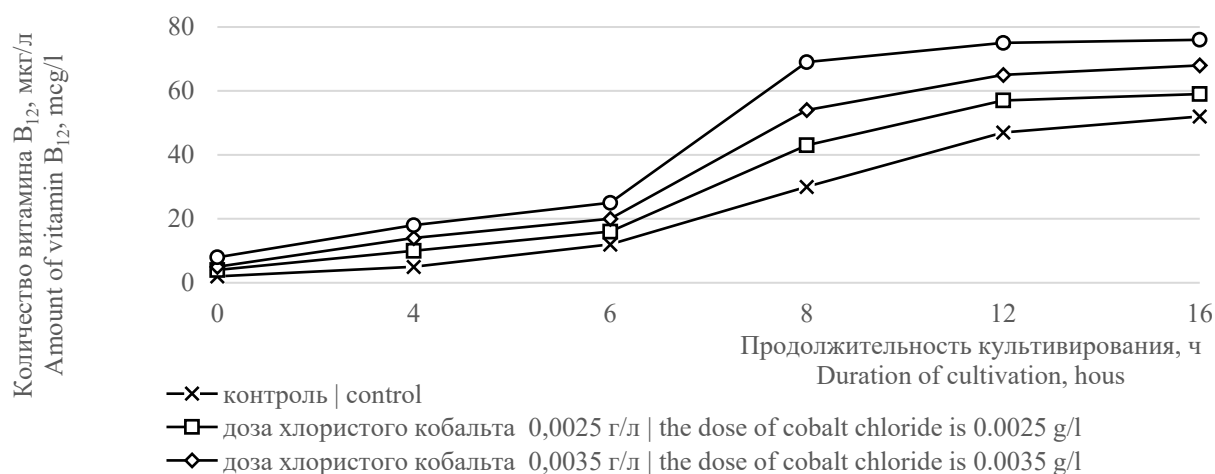
К настоящему времени открыто и изучено более тридцати биохимических реакций, катализируемых корриноидсодержащими ферментами. Открытие новых функций корриноидов продолжается. Имеются сведения, что содержание корриноидов в клетках *Pr. freudenreichii* напрямую зависит от концентрации ионов кобальта в среде [14–20].

Содержание кобальта минимально в естественных питательных средах. В связи

с этим, дальнейшие исследования были направлены на изучение влияния ионов кобальта на выход биомассы, синтез витамина В<sub>12</sub> и рост клеток пробиотических культур. Хлористый кобальт вносили в количестве 0,0025 г./л, 0,0035 г./л, 0,0045 г./л. В качестве контроля использовали среду, не содержащую кобальт. Результаты исследований представлены на рисунках 1–4.

Данные, представленные на рисунке 1, показывают, что увеличение количества ионов кобальта в среде стимулирует накопление витамина В<sub>12</sub>. Максимальное количество витамина В<sub>12</sub> обнаружено в образце, содержащем 0,0045 г./л ионов кобальта, и имеет значение 76,0 мкг/л.

Необходимо отметить, что высокая концентрация ионов кобальта 0,0045 г./л замедляет темп наращивания биомассы (рисунок 2) и рост пробиотических культур в консорциуме. Вероятно, избыточный синтез витамина В<sub>12</sub> нарушает энергетические и конструктивные процессы в клетках и приводит к задержке роста микроорганизмов (рисунки 3, 4).

Рисунок 1. Влияние дозы хлористого кобальта на биосинтез витамина В<sub>12</sub>Figure 1. Effect of cobalt chloride dose on vitamin В<sub>12</sub> biosynthesis

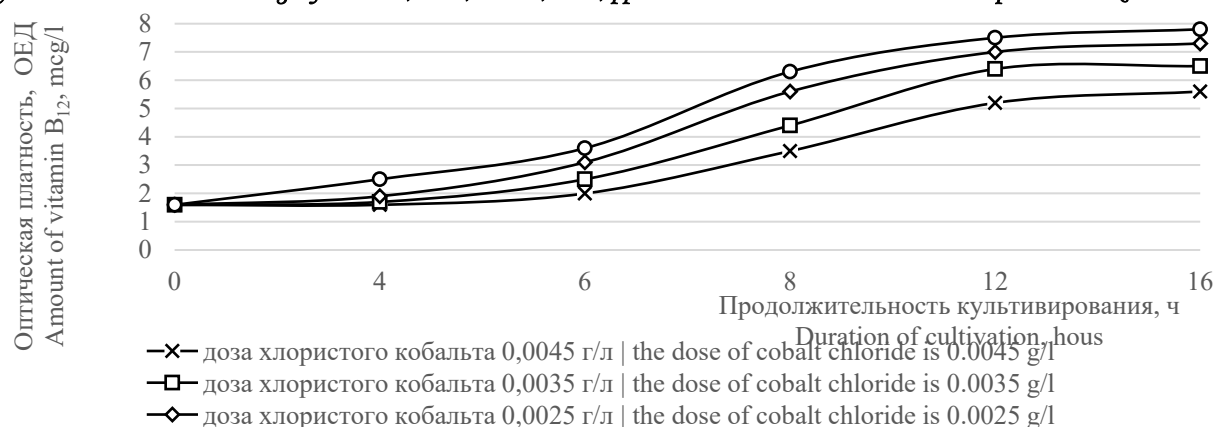


Рисунок 2. Влияние дозы хлористого кобальта на накопление биомассы культур *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и *L. acidophilus*

Figure 2. Effect of cobalt chloride dose on biomass accumulation of *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 and *L. acidophilus* cultures

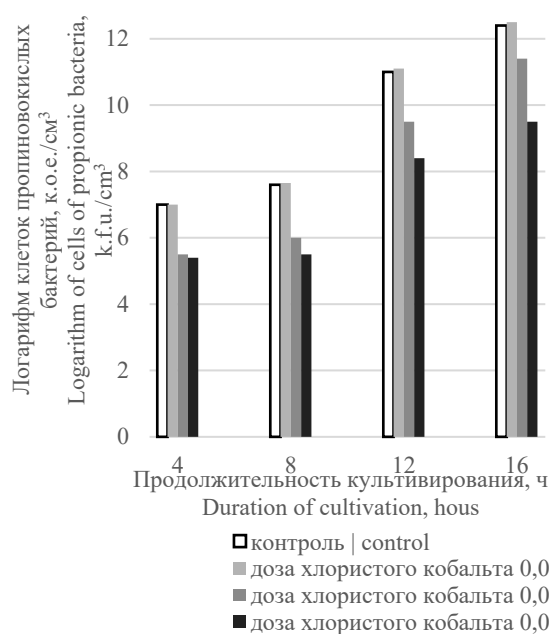


Рисунок 3. Влияние дозы хлористого кобальта на рост клеток *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85

Figure 3. Effect of Cobalt Chloride dose on *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 cell growth

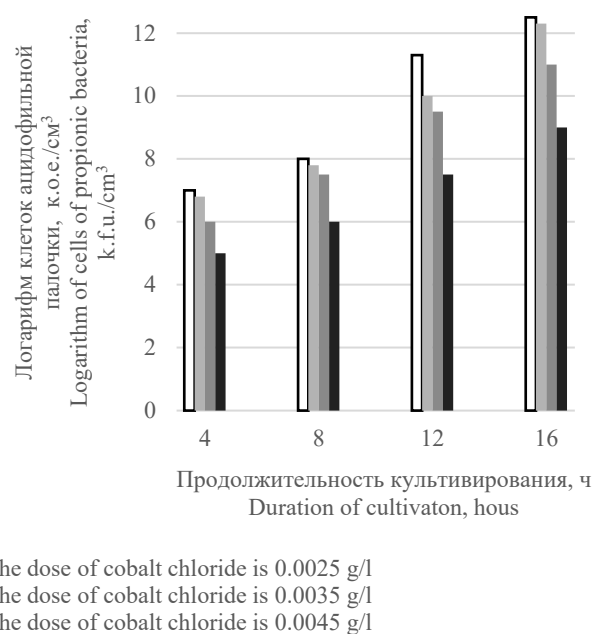


Рисунок 4. Влияние дозы хлористого кобальта на рост клеток *L. acidophilus*

Figure 4. Effect of Cobalt Chloride dose on *L. acidophilus* cell growth

Пропионовокислая бактерия представляет собой пример прокариота, у которого кобальт не только стимулирует образование корриноидов, но в определённых условиях служит фактором роста. При снижении количества ионов кобальта до 0,0025 г./л в питательной среде темп наращивания биомассы приближается к контрольному образцу и количество клеток пропионовокислых бактерий составляет в консорциуме  $10^{12}$  к.о.е./см<sup>3</sup>.

При этом наблюдается высокий уровень образования витамина В<sub>12</sub> в биомассе. Следует отметить, что минимальная доза внесения ионов кобальта не замедляет рост ацидофильной палочки в консорциуме микроорганизмов, количество жизнеспособных клеток составляет  $10^{12}$  к.о.е./см<sup>3</sup>.

Таким образом, подобрано оптимальное количество ионов кобальта 0,0025 г./л в питательной среде, обеспечивающее нормальный рост биомассы и стимулирующее накопление витамина В<sub>12</sub>.

### Заключение

С учетом биотехнологического потенциала и сбалансированного роста микроорганизмов оптимизирована питательная среда для получения биомассы консорциума *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и *L. acidophilus*. Подобрано оптимальное количество ионов кобальта в питательной среде, которое обеспечивает нормальный рост биомассы и стимулирует биосинтез витамина B<sub>12</sub>.

Поскольку для получения максимального выхода биомассы и синтеза метаболитов важным критерием является создание благоприятных условий культивирования штаммов пробиотических культур в консорциуме микроорганизмов, разработанная питательная среда может быть рекомендована для приготовления бактериального концентрата прямого внесения на основе штаммов *Propionibacterium freudenreichii* Sh-85 и *L. acidophilus*.

### Литература


- 1 Mishra M., Vishwakarma K., Singh J. et al. Exploring the multifaceted role of microbes in pharmacology // *Microbial Biotechnology: Volume 2. Application in Food and Pharmacology*. 2018. P. 319-329. doi: 10.1007/978-981-10-7140-9\_7.
- 2 Иркитова А.Н. Практическое значение и желчеустойчивость коллекционных штаммов *Lactobacillus acidophilus* // *Известия АлтГУ*. 2014. № 3 (83). С. 29–33 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prakticheskoe-znachenie-i-zhelcheustoychivost-kollektsionnyh-shtammov-lactobacillus-acidophilus>
- 3 Скрыбина М.П., Тарабукина Н.П., Неустроев М.П., Парникова С.И. и др. Антагонистическая активность кисломолочных продуктов, обогащенных пробиотическими штаммами // *Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*. 2016. №. 3 (19). С. 57.
- 4 Иркитова А.Н., Мащора А.В. Эколого-биологическая характеристика *Lactobacillus acidophilus* // *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. Т. 7. № 4. С. 214–230. doi: 10.15421/2017\_109
- 5 Hugenholtz J., Hunik H., Santos E., Smid J. Nutraceutical production by propionibacteria // *Lait*. 2002. V. 82. № 1. P. 103–112.
- 6 Isawa K., Hojo K. Isolation and identification of a new bifidogenic growth stimulator produced by *Propionibacterium freudenreichii* ET-3 // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2002. V. 66. №. 3. P. 679–681.
- 7 Warminska-Radiko I., Laniewska-Moroz L., Babuchowski A. Possibilities for stimulation of Bifidobacterium growth by propionibacteria // *Lait*. 2002. V. 82. № 1. P. 113–121.
- 8 Holo H., Faye T., Brede D.A., Nilsen T. et al. Bacteriocins of propionic acid bacteria // *Lait*. 2002. V. 82. P. 59–68.
- 9 Vorobjeva L. Physiological peculiarities of propionibacteria present facts and prospective applications // *Science Progress*. 2000. V. 83. № 3. P. 277–301.
- 10 Милентьева И.С., Козлова О.В., Еремеева Н.И. Исследование пробиотических свойств бактерий рода *Propionibacterium* // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2021. Т. 9. № 2. С. 83–92.
- 11 Федорова О.В., Понкратова С.А., Валеева Р.Т., Исламгулов И.Р. Питательные среды в производствах медицинских и ветеринарных препаратов // *Вестник технологического университета*. 2017. Т. 20. №4. С. 130-133.
- 12 Jeter R., Escalante-Semerena J.C. et al. Synthesis and use of vitamin B<sub>12</sub> // *Escherichia coli and Salmonella tephimurium*. 1987. V. 1. P. 551–556.
- 13 Boiarineva I.V., Khamagaeva I.S., Muruyev I.E. Optimization of nutrient medium composition to increase biomass of propionic acid bacteria and acidophilic bacteria // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. V. 640. №. 3. P. 032059. doi:10.1088/1755-1315/640/3/032059
- 14 Хамагаева И.С., Качанина Л.М., Тумурова С.М. Биотехнология заквасок пропионовокислых бактерий // *Монография*. Улан-Удэ: Издательство ВСГТУ, 2006. 172 с.
- 15 Каменская Юлия Валерьевна Влияние солей кобальта на биосинтез витамина B<sub>12</sub> пропионовокислыми бактериями // *Наука, техника и образование*. 2019. № 6 (59). С. 13–15. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-soley-kobalta-na-biosintez-vitamina-v12-propionovokislymi-bakteriyami>
- 16 Denkova R., Denkova Z., Yanakieva V., Blazheva D. Antimicrobial activity of probiotic lactobacilli, bifidobacteria and propionic acid bacteria, isolated from different sources // *Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education*. 2013. V. 2. P. 857-864.
- 17 Salehi M., Bagheri D., Sotoudeh E., Ghasemi A. et al. The combined effects of propionic acid and a mixture of Bacillus spp. probiotic in a plant protein-rich diet on growth, digestive enzyme activities, antioxidant capacity, and immune-related genes mRNA Transcript abundance in Lates calcarifer Fry // *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2022. P. 1-13. doi: 10.1007/s12602-021-09902-4
- 18 Xie Z., Li M., Qian M., Yang Z. et al. Co-Cultures of Lactobacillus acidophilus and Bacillus subtilis Enhance Mucosal Barrier by Modulating Gut Microbiota-Derived Short-Chain Fatty Acids // *Nutrients*. 2022. V. 14. №. 21. P. 4475. doi: 10.3390/nu14214475
- 19 Yoon J.H., Kim J.Y., Yoo J.H., Lee S.Y. et al. Development of a selective medium for the enumeration of lactic acid bacteria and bifidobacteria in food products // *Food Science and Biotechnology*. 2022. P. 1-9. doi: 10.1007/s10068-022-01202-z
- 20 Miguel M., Mamud L., Ramos S., Ku M.J. et al. Effects of using different roughages in the total mixed ration inoculated with or without coculture of Lactobacillus acidophilus and Bacillus subtilis on in vitro rumen fermentation and microbial population // *Animal Bioscience*. 2021. V. 34. №. 4. P. 642. doi: 10.5713/ajas.20.0386

## References


- 1 Mishra M., Vishwakarma K., Singh J. et al. Exploring the multifaceted role of microbes in pharmacology. Microbial Biotechnology: Volume 2. Application in Food and Pharmacology. 2018. pp. 319-329. doi: 10.1007/978-981-10-7140-9\_7.
- 2 Irkitova A.N. Practical significance and bile resistance of collection strains of Lactobacillus acidophilus. Izvestiya AltGU. 2014. no. 3 (83). pp. 29-33 Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/prakticheskoe-znachenie-i-zhelcheustoychivost-kollektsionnyh-shtammov-lactobacillus-acidophilus> (in Russian).
- 3 Skryabina M.P. et al. Antagonistic activity of fermented milk products enriched with probiotic strains. Russian Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2016. no. 3 (19). pp. 57. (in Russian).
- 4 Irkitova A.N., Matsyura A.V. Ecological and biological characteristics of Lactobacillus acidophilus. Ukrainian Journal of Ecology. 2017. vol. 7. no. 4. pp. 214-230. doi: 10.15421/2017\_109 (in Russian).
- 5 Hugenholtz J. et al. Nutraceutical production by propionibacteria. Lait. 2002. vol. 82. no. 1. pp. 103-112.
- 6 Isawa K., Hojo K. Isolation and identification of a new bifidogenic growth stimulator produced by Propionibacterium Jreudenreichii ET 3. Biosci. Biotechnol. Biochem. 2002. vol. 66. no. 3. pp. 679-681.
- 7 Warminska-Radiko I., Laniewska-Moroz L., Babuchowski A. Possibilities for stimulation of Bifidobacterium growth by propionibacteria. Lait. 2002. vol. 82. no. 1. pp. 113-121.
- 8 Holo H., Faye T., Brede D.A., Nilsen T. et al. Bacteriocins of propionic acid bacteria. Lait. 2002. vol. 82. pp. 59-68.
- 9 Vorobjeva L. Physiological peculiarities of propionibacteria present facts and prospective applications. Science Progress. 2000. vol. 83. no. 3. pp. 277-301.
- 10 Milentyeva I.S. et al. Study of the probiotic properties of bacteria of the genus Propionibacterium. Bulletin of the South Ural State University. Series "Food and Biotechnology". 2021. vol. 9. no. 2. pp. 83-92. (in Russian).
- 11 Fedorova O.V., Ponkratova S.A., Valeeva R.T., Islamgulov I.R. Nutrient media in the production of medical and veterinary preparations. Bulletin of the Technological University. 2017. vol. 20. no. 4. pp. 130-133. (in Russian).
- 12 Jeter R., Escalante-Semerena J.C. et al. Synthesis and use of vitamin B12. Escherichia coli and Salmonella tephimurium. 1987. vol. 1. pp. 551-556.
- 13 Boiarineva I.V., Khamagaeva I.S., Muruyev I.E. Optimization of nutrient medium composition to increase biomass of propionic acid bacteria and acidophilic bacteria. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. vol. 640. no. 3. pp. 032059. doi:10.1088/1755-1315/640/3/032059
- 14 Khamagaeva I.S., Kachanina L.M., Tumurova S.M. Biotechnology of starter cultures of propionic acid bacteria. Monograph. Ulan-Ude, VSGTU Publishing House, 2006. 172 p. (in Russian).
- 15 Kamenskaya Julia Valerievna Influence of cobalt salts on the biosynthesis of vitamin B12 by propionic acid bacteria. Science, technology and education. 2019. no. 6 (59). pp. 13-15. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-soley-kobalta-na-biosintez-vitamina-v12-propionovokislymi-bakteriyami> (in Russian).
- 16 Denkova R., Denkova Z., Yanakieva V., Blazheva D. Antimicrobial activity of probiotic lactobacilli, bifidobacteria and propionic acid bacteria, isolated from different sources. Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education. 2013. vol. 2. pp. 857-864.
- 17 Salehi M. et al. The combined effects of propionic acid and a mixture of Bacillus spp. probiotic in a plant protein-rich diet on growth, digestive enzyme activities, antioxidant capacity, and immune-related genes mRNA Transcript abundance in Lates calcarifer Fry. Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2022. pp. 1-13. doi: 10.1007/s12602-021-09902-4
- 18 Xie Z. et al. Co-Cultures of Lactobacillus acidophilus and Bacillus subtilis Enhance Mucosal Barrier by Modulating Gut Microbiota-Derived Short-Chain Fatty Acids. Nutrients. 2022. vol. 14. no. 21. pp. 4475. doi: 10.3390/nu14214475
- 19 Yoon J.H. et al. Development of a selective medium for the enumeration of lactic acid bacteria and bifidobacteria in food products. Food Science and Biotechnology. 2022. pp. 1-9. doi: 10.1007/s10068-022-01202-z
- 20 Miguel M., Mamud L., Ramos S., Ku M.J. et al. Effects of using different roughages in the total mixed ration inoculated with or without coculture of Lactobacillus acidophilus and Bacillus subtilis on in vitro rumen fermentation and microbial population. Animal Bioscience. 2021. vol. 34. no. 4. pp. 642. doi: 10.5713/ajas.20.0386

## Сведения об авторах

**Ирина В. Бояринева** д.т.н., профессор, базовая кафедра «Биоэкономики и продовольственной безопасности», Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край, 690922, Россия, boyarinevaiv@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

**Ирина С. Хамагаева** д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, ул. Ключевская, 40 в, г. Улан-Удэ, 670013, Россия, ikhamagaeva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

## 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. Boyarineva** Dr. Sci. (Engin.), professor, department of Bioeconomics and Food Security, Far Eastern Federal University, Ajax, 10, Russian Island, Vladivostok, 690922, Russia, boyarinevaiv@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

**Irina S. Khamagaeva** Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of animal products department, East Siberian State Technological University of Technology and Management, Klyuchevskaya str., 40 v, Ulan-Ude, 670013, Russia, ikhamagaeva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

## 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 14/10/2022

После редакции 09/11/2022



Принята в печать 30/11/2022

Received 14/10/2022

Accepted in revised 09/11/2022

Accepted 30/11/2022

## Оценка минерального профиля дикорастущего растительного сырья и продуктов его переработки для создания продуктов питания функциональной направленности



Константин А. Лещуков	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ka.leshchukov@orelsau.ru">ka.leshchukov@orelsau.ru</a>	 0000-0002-6200-2568
Оксана А. Ковалева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:oa.kovaleva@orelsau.ru">oa.kovaleva@orelsau.ru</a>	 0000-0002-8476-5398
Ольга С. Киреева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:os.kireeva@orelsau.ru">os.kireeva@orelsau.ru</a>	 0000-0002-8343-0369
Татьяна Н. Лазарева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:tn.lazareva@orelsau.ru">tn.lazareva@orelsau.ru</a>	 0000-0001-5525-0099
Наталия Н. Поповичева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:nn.popovicheva@orelsau.ru">nn.popovicheva@orelsau.ru</a>	 0000-0002-5445-8346

<sup>1</sup> Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия

**Аннотация.** Растительное сырье и продукты его переработки являются источником необходимых биологически активных нутриентов и широко используются в пищевом производстве при создании продуктов функционального и специализированного питания. Проведены исследования минерального профиля ягод клюквы обыкновенной дикорастущей (*Vaccinium oxycoccos*), произрастающей в Республике Карелия и продуктов переработки ягод (сока и жмыха) при разных способах переработки сырья. Исследования минерального состава свежих ягод клюквы обыкновенной и продуктов их переработки, полученных разными способами, показали высокое содержание эссенциальных макро- и микроэлементов в свежих ягодах, соках и жмыхах и позволили установить закономерность миграции и распределения микронутриентов в зависимости от способа предварительной обработки сырья. Полученные в ход эксперимента данные позволяют судить о высоком минеральном профиле ягод клюквы дикорастущей и продуктов ее переработки и содержании некоторых элементов (в частности фосфора и марганца) в физиологически значимом количестве, что объясняет перспективу применения продуктов переработки дикорастущего ягодного сырья для обогащения продуктов питания микронутриентами. Исследования минерального состава съедобных упаковочных пленок на основе концентрированного сока клюквы, показали более высокий минеральный профиль всех образцов пленок с добавлением сока, полученного с предварительной обработкой ягодного сырья паром, вне зависимости от вида структурообразующей матрицы, что обусловлено более высоким содержанием сухих веществ концентрированного сока. Установлено, что предварительная обработка ягодного сырья паром перед извлечением сока, а также последующее его концентрирование позволяет переработать сырье с максимальным сохранением эссенциальных компонентов, обладающих высокой степенью биологической активности.

**Ключевые слова:** дикорастущее сырье, клюква, фитобиотики, продукты переработки, минеральный профиль, функциональные продукты питания, сок, жмыхи.

## Evaluation of the mineral profile of wild plant raw materials and products of its processing for the creation of functional food products

Konstantin A. Leshchukov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ka.leshchukov@orelsau.ru">ka.leshchukov@orelsau.ru</a>	 0000-0002-6200-2568
Oksana A. Kovaleva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:oa.kovaleva@orelsau.ru">oa.kovaleva@orelsau.ru</a>	 0000-0002-8476-5398
Olga S. Kireeva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:os.kireeva@orelsau.ru">os.kireeva@orelsau.ru</a>	 0000-0002-8343-0369
Tatiana N. Lazareva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:tn.lazareva@orelsau.ru">tn.lazareva@orelsau.ru</a>	 0000-0001-5525-0099
Natalia N. Popovicheva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:nn.popovicheva@orelsau.ru">nn.popovicheva@orelsau.ru</a>	 0000-0002-5445-8346

<sup>1</sup> Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, General Rodina Street, 69, Orel, 302019, Russia

**Abstract.** Vegetable raw materials and their processed products are a source of necessary biologically active nutrients and are widely used in food production when creating functional and specialized nutrition products. Studies of the mineral profile of wild cranberry berries (*Vaccinium oxycoccos*) growing in the Republic of Karelia and berry processing products (juice and cake) with different methods of processing raw materials have been carried out. Studies of the mineral composition of fresh cranberry berries and their processed products obtained by various methods showed a high content of essential macro- and microelements in fresh berries, juices and cakes and allowed us to establish the regularity of migration and distribution of micronutrients depending on the method of pre-processing of raw materials. The data obtained during the experiment allow us to judge the high mineral profile of wild cranberry berries and its processed products and the content of certain elements (in particular phosphorus and manganese) in a physiologically significant amount, which explains the prospect of using products of processing wild berry raw materials to enrich food with micronutrients. Studies of the mineral composition of edible packaging films based on concentrated cranberry juice have shown a higher mineral profile of all samples of films with the addition of juice obtained with pretreatment of berry raw materials with steam, regardless of the type of structure-forming matrix, which is due to a higher content of concentrated juice solids. It has been established that the pre-processing of berry raw materials with steam before extracting the juice, as well as its subsequent concentration, allows processing raw materials with maximum preservation of essential components with a high degree of biological activity.)

**Keywords:** wild-growing raw materials, cranberries, phytochemicals, processed products, mineral profile, functional products, juice, cake.

### Для цитирования

Лещуков К.А., Ковалева О.А., Киреева О.С., Лазарева Т.Н., Поповичева Н.Н. Оценка минерального профиля дикорастущего растительного сырья и продуктов его переработки для создания продуктов питания функциональной направленности // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 103–109. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-103-109

### For citation

Leshchukov K.A., Kovaleva O.A., Kireeva O.S., Lazareva T.N., Popovicheva N.N. Evaluation of the mineral profile of wild plant raw materials and products of its processing for the creation of functional food products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 103–109. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-103-109

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

## Введение

По данным официальной статистики, в последние годы большая часть населения России испытывает существенный недостаток в рационе кальция, магния, йода, цинка и других минеральных веществ, а также ряда витаминов [1–4]. Неадекватное поступление минеральных элементов с пищей оказывает негативное влияние на физиологическое состояние организма, способствует развитию нарушений обменных процессов и хронических заболеваний [5, 6]. Компенсация дефицита микро- и макроэлементов может быть обеспечена обогащением традиционных продуктов пищевого рациона эссенциальными веществами посредством внесения в рецептуру функциональных физиологически значимых компонентов с высоким минеральным профилем [7–11].

В последние годы активно ведется работа по профилактике дефицита микронутриентов пищи и возникновения алиментарно-зависимых заболеваний путем корректировки рациона питания и применения продуктов функциональной направленности созданных на основе принципов пищевой комбинаторики, физиологически адаптированных, биосовместимых и безопасных с точки зрения присутствия ксенобиотиков [12–13]. Растительное сырье, в том числе дикорастущее фитобиотическое сырье, и продукты его переработки являются источником необходимых биологически активных нутриентов и широко используются в пищевом производстве при создании продуктов функционального и специализированного питания [14–19]. При этом современное состояние перерабатывающей отрасли диктует необходимость рациональной и комплексной переработки сырья как животного, так и растительного происхождения, применения безотходных и ресурсосберегающих технологий с получением конечного продукта, обладающего высокой степенью биологической активности, с максимальным сохранением эссенциальных компонентов.

**Цель работы** – исследование влияния способов предварительной обработки свежих ягод клюквы обыкновенной дикорастущей (*Vaccinium oxycoccos*) на минеральный профиль продуктов переработки ягодного сырья и упаковочных съедобных пленок на их основе для применения в технологии продуктов функционального питания.

## Материалы и методы

Для исследования минерального профиля использовались ягоды клюквы обыкновенной дикорастущей (*Vaccinium oxycoccos*), произрастающей в Республике Карелия, собранные в фазе технической спелости в сентябре 2021 года, хранившиеся в условиях холодильной камеры при температуре  $4 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение 6 месяцев. Из ягодного сырья извлекали сок и исследовали продукты переработки ягод – сок и жмых.

Соки клюквы получали двумя способами: способ № 1 – прямой отжим прессованием без предварительной обработки ягод; способ № 2 – отжим прессованием с предварительной обработкой ягод паром в течение 10 минут и охлаждением ягод до комнатной температуры перед извлечением сока. Полученные соки концентрировали следующим образом: по 500 мл извлеченного прессованием сока концентрировали выпариванием в одинаковых условиях при атмосферном давлении по запатентованной технологии в течение 2 ч [20]. На основе концентрированных соков клюквы были изготовлены съедобные пленки с использованием растворов крахмала, желатина или агар-агара в качестве структурной матрицы при следующем соотношении компонентов:

- образец № 1: с добавлением 2%-ного раствора агар-агара с соком № 1 (без предварительной обработки ягод паром) в количестве 1 г на 100 мл раствора;

- образец № 2: с добавлением 2%-ного раствора агар-агара с соком № 2 (с предварительной обработкой ягод паром) в количестве 1 г на 100 мл раствора;

- образец № 3: с добавлением 25%-ного раствора пищевого желатина с соком № 1 (без предварительной обработки ягод паром) в количестве 1 г на 100 мл раствора;

- образец № 4: с добавлением 25%-ного раствора пищевого желатина с соком № 2 (с предварительной обработкой ягод паром) в количестве 1 г на 100 мл раствора;

- образец № 5: с добавлением 4,5%-ного раствора картофельного крахмала с соком № 1 (без предварительной обработки ягод паром) в количестве 1 г на 100 мл раствора;

- образец № 6: с добавлением 4,5%-ного раствора картофельного крахмала с соком № 2 (с предварительной обработкой ягод паром) в количестве 1 г на 100 мл раствора.



Исследование минерального состава образцов свежих ягод клюквы, клюквенных соков и съедобных пленок на основе концентрированных соков клюквы проводили на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой ICAP-6300 после пробоподготовки, которую проводили согласно методическим указаниям к прибору.

### Результаты и обсуждение

Подвергнутое предварительной обработке паром при извлечении сока ягодное сырье приобрело более мягкую консистенцию за счет разрушения клеточных стенок, частичной денатурации белковых веществ и снижения механической прочности тканей. При этом выход сока составил 68,5%, что ниже на 3,8% в сравнении с первым способом извлечения сока без предварительной тепловой обработки ягодное сырье (выход сока 72,3%). Массовая доля растворимых сухих веществ в соке, полученном способом № 1, составила 8,24%, способом № 2 – 10,34%. Влажность жмыхов, полученных после извлечения сока, составила 25,81 и 28,18% при извлечении сока без предварительной тепловой обработки ягодного сырья и с обработкой ягод паром. Полученные результаты объясняются различной степенью разрушения нецеллюлозных полисахаридов, в результате чего образуются продукты, обладающие различной растворимостью, часть из которых переходит в извлеченный сок, придавая ему большую вязкость. При этом одновременно происходит образование гидрофильных полисахаридов, удерживающих воду в клеточных стенках жмыха, препятствующих наиболее полному извлечению сока из ягодного сырья.

Результаты исследования содержания массовой доли золы в продуктах переработки ягодного сырья (рис. 1) показали, большее содержание золы в соке и жмыхе 1 способа переработки ягод. Анализируя данные рисунка 1, можно сделать вывод, что предварительная обработка ягод клюквы паром в течение 10 минут приводит к снижению зольности продуктов переработки ягод: сока – в 1,4 раза или в 1,8 раза (в зависимости от содержания сухих веществ) и жмыха – в 1,2 раза.

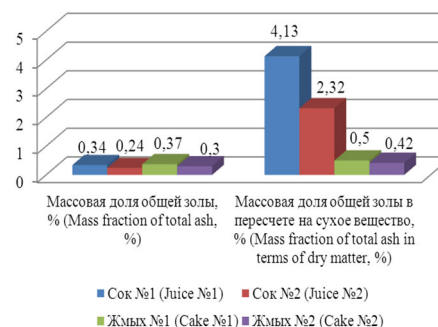


Рисунок 1. Содержание золы в продуктах переработки ягод клюквы, полученных различными способами

Figure 1. Ash content in cranberry berry processing products obtained by various methods

Исследования минерального состава свежих ягод клюквы обыкновенной и продуктов их переработки, полученных разными способами, показали высокое содержание эссенциальных макро- и микроэлементов в свежих ягодах, соках и жмыхах и позволили установить закономерность миграции и распределения микронутрентов в зависимости от способа предварительной обработки сырья (таблица 1).

Таблица 1.

Минеральный состав клюквы обыкновенной дикорастущей (*Vaccinium oxycoccos*) и продуктов ее переработки

Table 1.

Mineral composition of wild cranberry (*Vaccinium oxycoccos*) and its processed products

Элемент Element	Содержание в 100 г.   Content			
	Ягоды клюквы	Сок № 1	Сок № 2	Жмых № 2
Кальций, мг   Calcium, mg	16,088	18,587	16,294	31,459
Железо, мг   Iron, mg	0,764	0,215	0,197	0,302
Калий, мг   Potassium, mg	88,875	49,820	44,415	105,640
Литий, мкг   Lithium, mg	8,546	5,426	4,549	9,675
Магний, мг   Magnesium, mg	42,683	41,112	37,733	75,152
Марганец, мг   Manganese, mg	0,755	2,851	1,313	1,798
Натрий, мг   Sodium, mg	1,360	0,742	0,935	1,401
Фосфор, мг   Phosphorus, mg	20,987	8,631	9,053	112,363
Цинк, мг   Zinc, mg	1,753	4,783	3,108	4,148
Алюминий, мкг   Aluminum, mg	*	0,2856	0,0755	*
Ртуть, мкг   Mercury, mg	*	*	*	*
Кадмий, мкг   Cadmium, µg	0,591	0,493	1,282	0,009
Мышьяк мкг   Arsenic µg	*	*	*	*
Свинец, мкг   Lead, µg	*	*	*	*

Примечание: \* – Не обнаружено в пределах определяемого метода | Note: \* – Not detected within the defined method

Установлено, что ягоды и продукты переработки клюквы дикорастущей богаты эссенциальными макроэлементами магнием, калием, кальцием, фосфором, из микроэлементов в существенном количестве содержится марганец и железо, причем в зависимости от способа предварительной обработки количественное содержание минеральных веществ существенно варьирует. В зависимости от способа переработки сырья меняется степень миграции микронутриентов в сок и минеральный состав конечных продуктов переработки ягод.

Отмечено, что в соке прямого отжима без предварительной обработки ягод паром выше содержание кальция (на 2,293 мг/100г), железа (на 0,018 мг/100г), калия (на 5,405 мг/100г), магния (на 3,379 мг/100г), марганца (на 1,538 мг/100г) и цинка (на 1,675 мг/100г) в сравнении с соком, полученным с предварительной обработкой ягод паром. Причем содержание калия в соках № 1 и № 2 снижается в 1,78 раза и в 2 раза соответственно в сравнении с ягодой, наряду с увеличением его содержания в жмыхах № 1 и № 2 – в 1,19 раза и 1,21 раза соответственно.

В продуктах переработки ягодного сырья содержится значительно больше марганца (в 3,78 раза и в 1,07 раза соответственно – в соках и в 2,38 и 2,71 раза – в жмыхах). При этом содержание марганца в ягодах и продуктах переработки в количестве от 0,755 до 2,851 мг/100г достаточно высоко при норме его потребления от 2 до 5 мг/сутки. Содержание фосфора в соках снижается более чем в 2 раза в сравнении с исходной ягодой, однако жмыхи содержат его в 5,35 и 6,16 раз больше, чем ягоды. По содержанию железа свежие ягоды превосходит только жмых № 2 (в 1,28 раза), в остальных продуктах переработки содержание железа снижается. Количество магния в соках близко к значениям ягодного сырья, что способно обеспечить около 10% суточной потребности в макроэлементе, однако в жмыхах его содержание возрастает примерно в 2 раза, что составит примерно 18–22% от суточной потребности (в зависимости от способа переработки сырья). При этом содержание минеральных элементов в жмыхах возрастает прямо пропорционально их снижению в соках, полученных разными способами. Это объясняется образованием комплексных соединений металлов с полисахаридами (в частности, пектином) в процессе набухания и перехода части минеральных элементов в ягодный жмых.

Исследование элементного состава позволило установить также присутствие в ягодах клюквы дикорастущей висмута (0,116 мкг/100 г.), никеля (1,449 мкг/100 г.),

ванадия (5,095 мкг/100 г.), серебра (0,710 мкг/100 г.) и сурьмы (0,003 мкг/100 г.). Однако существенно низкие значения содержания, а также отсутствие эссенциальной значимости указанных элементов в пищевом рационе объяснили отсутствие необходимости их количественного определения в продуктах переработки ягодного сырья.

Полученные данные свидетельствуют о том, что предварительная обработка ягод паром способствует накоплению в полученном соке кадмия, при этом в жмыхах вне зависимости от способа получения содержится предельно низкое количество этого элемента.

Содержания кадмия, который относится к токсичным элементам и контролируется как показатель безопасности в ягодах и продуктах их переработки не превышает значений, установленных Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (норма – не более 3 мкг/100 г.). В ходе исследований образцов ягод и продуктов их переработки свинца, мышьяка и ртути не обнаружено, что объясняется местом произрастания ягодного сырья в экологически чистом регионе России.

Полученные данные позволяют судить о высоком минеральном профиле ягод клюквы дикорастущей и продуктов ее переработки и содержании некоторых элементов (в частности фосфора и марганца) в физиологически значимом количестве, что объясняет перспективу применения продуктов переработки дикорастущего ягодного сырья для обогащения продуктов питания микронутриентами.

В частности, ранее разработана технология получения составов съедобных пленок с концентрированными ягодными соками, позволяющая повысить минеральный профиль продуктов питания, выработанных с их использованием [21]. Концентрирование соков прямого отжима позволяет существенно повысить пищевую ценность соков и снизить количество вносимого сока в съедобную пленку, необходимого для адекватного содержания в ней минеральных веществ, позволяющего придать функциональные свойства упакованному в нее продукту. Аналогичным образом были получены съедобные пленки с концентрированным соком клюквы. Исследования минерального состава съедобных упаковочных пленок на основе концентрированного сока клюквы, полученных различными способами (таблица 2) показали более высокий минеральный профиль всех образцов пленок с добавлением сока, полученного 2 способом вне зависимости от вида структурообразующей матрицы, что обусловлено более высоким содержанием сухих веществ концентрированного сока.

Таблица 2.

Макро- и микроэлементный состав съедобных упаковочных пленок на основе концентрированного сока клюквы

Table 2.

Macro- and microelement composition of edible packaging films based on concentrated cranberry juice

Элемент Element	Образец Sample					
	1	2	3	4	5	6
Кальций, мг   Calcium, mg	11,869	15,916	11,095	20,683	14,169	15,001
Кадмий, мкг/г   Cadmium, mg/g	1,487	0,966	0,733	1,721	1,686	1,276
Железо, мг   Iron, mg	0,045	0,213	0,029	0,120	0,051	0,089
Калий, мг   Potassium, mg	38,268	50,081	39,001	92,839	70,306	91,922
Литий, мкг   Lithium, mcg	23,541	31,140	24,166	58,003	43,976	57,314
Магний, мг   Magnesium, mg	20,208	29,211	12,649	24,453	16,617	21,378
Марганец, мг   Manganese, mg	0,349	0,531	0,220	0,379	0,236	0,369
Натрий, мг   Sodium, mg	0,362	0,475	0,382	0,867	0,641	0,832
Фосфор, мг   Phosphorus, mg	18,587	19,063	8,116	8,985	8,954	9,605
Цинк, мг   Zinc, mg	2,734	3,108	2,537	3,959	4,907	4,987

Причем установлено существенное содержание фосфора в пленках на основе агар-агара, близкое к значениям исходного ягодного сырья, что объясняется присутствием соединений фосфора в агар-агаре, полученном их морских водорослей, богатых этим элементом.

Содержание кадмия, который был обнаружен в продуктах переработки ягодного сырья, в съедобных пленках не превышает значений, установленных Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

### Заключение

Проведенные исследования позволили установить зависимость минерального профиля продуктов переработки дикорастущего ягодного сырья и съедобных упаковочных пленок от способа предварительной обработки ягод перед извлечением сока. Установлено, что предварительная обработка ягодного сырья паром перед извлечением сока, а также последующее его концентрирование позволяет переработать сырье с максимальным сохранением эссенциальных компонентов, обладающих высокой степенью биологической активности. Богатый минеральный профиль продуктов переработки

дикорастущего ягодного сырья объясняет перспективы его использования для обогащения продуктов питания макро- и микроэлементами.

На основании полученных результатов в дальнейшем будет оптимизирована дозировка внесения сока в пленку, а также подобран оптимальный расход съедобной пленки в зависимости от вида упаковываемого продукта с целью обеспечения физиологически значимого содержания макро-и микроэлементов в конечном продукте для придания функциональных свойств. Проведенные исследования позволяют обозначить перспективу применения и рассмотреть направления использования ягодных жмыхов, полученных после извлечения сока, в качестве ценного сырьевого ресурса с богатым минеральным профилем для обогащения продуктов питания эссенциальными микронутриентами.

### Благодарности

Работа выполнена по заказу Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета в 2022 году «Разработка упаковочных решений, обеспечивающих увеличение срока годности продукта».

### Литература

- 1 Лир Д.Н., Перевалов А.Я. Анализ фактического домашнего питания проживающих в городе детей дошкольного и школьного возраста // Вопросы питания. 2019. Т. 88. № 3. С. 69–77. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10031
- 2 Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Кешабянц Э.Э. и др. Анализ фактического питания детей и подростков России в возрасте от 3 до 19 лет // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 4. С. 50–60. doi: 10.24411/0042-8833-2017-00059
- 3 Алферова В.И., Мустафина С.В., Рымар О.Д. Йодная обеспеченность в России и мире: что мы имеем на 2019 год? // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2019. Т. 15. № 2. С. 73–82. doi: 10.14341/ket10353
- 4 Погожева А.В., Коденцова В.М. Группы риска множественного дефицита витаминов и минеральных веществ среди населения // Клиническое питание и метаболизм. 2020. Т. 1. № 3. – С. 137–143. doi: 10.17816/clinutr48744
- 5 Артеменков А.А. Проблема профилактики эндемических заболеваний и микроэлементозов у человека // Профилактическая медицина. 2019. № 22(3). С. 92–100. doi: 10.17116/profmed20192203192
- 6 Gallo M., Ferrara L., Calogero A., Montesano D. et al. Relationships between food and diseases: What to know to ensure food safety // Food Research International. 2020. Vol. 137. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109414

- 7 Janve M., Singhal R.S. Fortification of puffed rice extrudates and rice noodles with different calcium salts: Physicochemical properties and calcium bioaccessibility / LWT. 2018. Vol. 97. P. 67–75. doi: 10.1016/j.lwt.2018.06.030
- 8 Haas I.C.S. et al. Polyphenolic profile, macro – and microelements in bioaccessible fractions of grape juice sediment using gastrointestinal simulation // Food Bioscience. 2019. Vol. 27. P. 66–74. doi: 10.1016/j.fbio.2018.11.002
- 9 Сычева О.В., Кайшев В.Г. Обогащение – путь к созданию нового поколения пищевых продуктов // Товаровед продовольственных товаров. 2020. № 10. С. 36–40. doi: 10.33920/igt-01–2010–05
- 10 Истригова Т.А., Джамбулатов З.М., Салманов М.М., Селимова У.А. и др. Продукты питания – главный фактор здоровья // Известия Дагестанского ГАУ. 2019. № 3 (3). С. 49–54. doi: 10.15217/issn2686–7591.2019.3.49
- 11 Shubham K. et al. Iron deficiency anemia: A comprehensive review on iron absorption, bioavailability and emerging food fortification approaches // Trends in Food Science & Technology, V. 99, 2020, P. 58–75, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.021>.
- 12 Жилинская Н.В. Обогащенная молочная продукция – основной тренд коррекции дефицита микронутриентов: научные исследования и промышленное внедрение // Молочная промышленность. 2020. № 6. С. 32–34. doi: 10.31515/1019–8946–2020–06–32–34
- 13 Кайшев В.Г. Обогащение продуктов питания – современный принцип пищевой индустрии // Аграрно-пищевые инновации. 2020. № 4 (12). С. 70–76. doi: 10.31208/2618–7353–2020–12–70–76
- 14 Zhang Yi., Zhao Yi., Liu X., Chen X. et al. Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) as a new functional food relationship with health: an overview // Journal of Future Foods. 2021. Vol. 1, Issue 2. P. 168–178. doi: 10.1016/j.jfutfo.2022.01.006
- 15 Ширитова Л.Ж. Брусника кавказская – источник биологически активных веществ // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2021. № 4 (34). С. 66–71.
- 16 Попова Н.В., Калинина И.В., Павлова С.В. Перспективы использования вторичных продуктов переработки зеленого чая для создания обогащающих пищевых ингредиентов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2021. Т. 9. № 4. С. 70–76. doi: 10.14529/food210408
- 17 Chongthama N., Bisht M.S., Santosha O., Bajwa H.K. et al. Mineral elements in Bamboo shoots and Potential role in Food Fortification // Journal of Food Composition and Analysis. 2021. Vol. 95. doi: 10.1016/j.jfca.2020.103662
- 18 Типсина Н.Н., Сизых О.А. Использование дикорастущего сырья при разработке макаронных изделий (обзор) // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2 (179). С. 217–224. doi: 10.36718/1819–4036–2022–2–217–224
- 19 Феофилактова О.В., Стоянова О.Н., Мотовилов К.Я. Использование растительного сырья Уральского региона в производстве продукции предприятий общественного питания // Индустрия питания. 2019. Т. 4. № 4. С. 44–52. doi: 10.29141/2500-1922-2019-4-4-6
- 20 Пат. 2501280 РФ, МПК А 23 В 4/10. Способ получения съедобного защитного покрытия для мясных продуктов / Киреева О.С., Шалимова О.А.; патентообладатель Орловский государственный аграрный ун-т (2013)
- 21 Ковалева О.А., Здрабова Е.М., Киреева О.С. Перспективы использования концентрированных ягодных соков в технологии мясных продуктов // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2019. № 48. С. 28–35. doi: 10.17217/2079–0333–2019–48–28–35


## References

1. Lir DN, Perevalov AY. Analysis of actual home nutrition of urban children of pre-school and school age. *Voprosy pitaniia*. 2019; 88(3): 69–77. (in Russian).
2. Martinchik AN, Baturin AK, Keshabyants EE, et al. Dietary intake analysis of Russian children 3–19 years old. *Voprosy pitaniia*. 2017; 86(4):50–60. (in Russian).
3. Alferova VI, Mustafina SV, Rymar OD. Iodine status of the population in Russia and the world: what do we have for 2019? *Clinical and experimental thyroidology*. 2019; 15(2):73–82. (in Russian).
4. Pogozheva a., Kodentsova V.M. Risk groups for multiple vitamin and mineral deficiencies in the population // *Clinical nutrition and metabolism*. – 2020. – Vol. 1. – N. 3. – P. 137–143. doi: 10.17816/clinutr48744 (in Russian).
5. Artemenkov A.A. The problem of prevention of endemic diseases and microelementoses in humans // *Preventive medicine*. 2019. No.22(3). pp. 92–100. doi: 10.17116/profmed20192203192 (in Russian).
6. Gallo M., Ferrara L., Calogero A., Montesano D. et al. Relationships between food and diseases: What to know to ensure food safety // *Food Research International*. 2020. Vol. 137. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109414
7. Janve M., Singhal R.S. Fortification of puffed rice extrudates and rice noodles with different calcium salts: Physicochemical properties and calcium bioaccessibility / LWT. 2018. Vol. 97. P. 67–75. doi: 10.1016/j.lwt.2018.06.030
8. Haas I.C.S., Toaldo I.M., Gomes T.M., Luna A.S., et al. Polyphenolic profile, macro – and microelements in bioaccessible fractions of grape juice sediment using gastrointestinal simulation // *Food Bioscience*. 2019. Vol. 27. P. 66–74. doi: 10.1016/j.fbio.2018.11.002
9. Sycheva O.V., Kaishev V.G. Enrichment – the way to the creation of a new generation of food products // *Commodity specialist of food products*. 2020. No. 10. pp. 36–40. doi: 10.33920/igt-01–2010–05 (in Russian).
10. Istrigova T.A., Dzhambulatov Z.M., Salmanov M.M., Selimova U.A., etc. Food is the main factor of health // *Izvestiya Dagestanskogo GAU*. 2019. No.3 (3). pp. 49–54. doi: 10.15217/issn2686–7591.2019.3.49 (in Russian).
11. Shubham K. et al. Iron deficiency anemia: A comprehensive review on iron absorption, bioavailability and emerging food fortification approaches // *Trends in Food Science & Technology*, Volume 99, 2020, Pages 58–75, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.021>
12. Zhilinskaya N.V. Enriched dairy products – the main trend of correction of micronutrient deficiency: scientific research and industrial implementation // *Dairy industry*. 2020. No. 6. pp. 32–34. doi: 10.31515/1019–8946–2020–06–32–34 (in Russian).


13. Kaishev V.G. Fortification of food products – a modern principle of the food industry // Agrarian and food innovations. 2020. No.4 (12). pp. 70–76. doi: 10.31208/2618–7353–2020–12–70–76 (in Russian).
14. Zhang Yi., Zhao Yi., Liu X., Chen X. et al. Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) as a new functional food relationship with health: an overview // Journal of Future Foods. 2021. Vol. 1, Issue 2. P. 168–178. doi: 10.1016/j.jfutfo.2022.01.006
15. Shiritova L.J. Caucasian cowberry – a source of biologically active substances // Izvestiya Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. 2021. No. 4 (34). pp. 66–71. (in Russian).
16. Popova N.V., Kalinina I.V., Pavlova S.V. Prospects of using secondary products of green tea processing to create enriching food ingredients // Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2021. Vol. 9. No. 4. pp. 70–76. doi: 10.14529/food210408 (in Russian).
17. Chongthama N., Bisht M.S., Santosha O., Bajwa H.K. et al. Mineral elements in Bamboo shoots and Potential role in Food Fortification // Journal of Food Composition and Analysis. 2021. Vol. 95. doi: 10.1016/j.jfca.2020.103662
18. Tipsina N.N., Sizykh O.A. The use of wild-growing raw materials in the development of pasta (review) // Bulletin of KrasGAU. 2022. No.2 (179). pp. 217–224. doi: 10.36718/1819-4036-2022-2-217-224 (in Russian).
19. Feofilaktova O.V., Stoyanova O.N., Motovilov K. Ya. The use of vegetable raw materials of the Ural region in the production of products of public catering enterprises // Food industry. 2019. Vol. 4. No. 4. pp. 44–52. doi: 10.29141/2500-1922-2019-4-4-6 (in Russian).
20. Patent 2501280 RF, IPC A 23 B 4/10. Method of obtaining edible protective coating for meat products / Kireeva O.S., Shalimova O.A.; patent holder Orel State Agrarian University (2013) (in Russian).
21. Kovaleva O.A., Zdrabova E.M., Kireeva O.S. Prospects of using concentrated berry juices in meat products technology // Bulletin of the Kamchatka State Technical University. 2019. No. 48. pp. 28–35. doi: 10.17217/2079-0333-2019-48-28-35 (in Russian).

#### Сведения об авторах


**Константин А. Лещуков** д.с/х.н., зав. кафедрой, кафедра продуктов питания животного происхождения, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия, ka.leshchukov@orelsau.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6200-2568>


**Оксана А. Ковалева** д.б.н., профессор, кафедра продуктов питания животного происхождения, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия, oa.kovaleva@orelsau.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8476-5398>


**Ольга С. Киреева** к.т.н., научный сотрудник, Инновационный научно-исследовательский испытательный центр коллективного пользования, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия, os.kireeva@orelsau.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8343-0369>

**Татьяна Н. Лазарева** к.т.н., директор, Инновационный научно-исследовательский испытательный центр коллективного пользования, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия, tn.lazareva@orelsau.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5525-0099>

**Наталья Н. Поповичева** ведущий специалист, Инновационный научно-исследовательский испытательный центр коллективного пользования, Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, ул. Генерала Родина, 69, г. Орел, 302019, Россия, nn.popovicheva@orelsau.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5445-8346>

#### 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


**Konstantin A. Leshchukov** Dr. Sci. (Agricul.), head of the department, department of animal food products, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, General Rodina Street, 69. Orel, 302019, Russia, ka.leshchukov@orelsau.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6200-2568>


**Oksana A. Kovaleva** Dr. Sci. (Biol.), professor, department of animal food products, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, General Rodina Street, 69. Orel, 302019, Russia, oa.kovaleva@orelsau.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8476-5398>


**Olga S. Kireeva** Cand. Sci. (Tech.), research associate, Innovative Research and Testing Center for collective use, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, General Rodina Street, 69. Orel, 302019, Russia, os.kireeva@orelsau.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8343-0369>

**Tatiana N. Lazareva** Cand. Sci. (Tech.), director, Innovative Research and Testing Center for collective use, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, General Rodina Street, 69. Orel, 302019, Russia, tn.lazareva@orelsau.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5525-0099>

**Natalia N. Popovicheva** leading specialist, Innovative Research and Testing Center for collective use, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, General Rodina Street, 69. Orel, 302019, Russia, nn.popovicheva@orelsau.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5445-8346>

#### 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 25/10/2022	После редакции 25/10/2022	Принята в печать 25/10/2022
Received 25/10/2022	Accepted in revised 25/10/2022	Accepted 25/10/2022

## Анализ патентной документации по вопросам биотестирования в пищевых продуктах




Анна Э. Джабакова <sup>1</sup>	<a href="mailto:dzhabakovaee@mgupp.ru">dzhabakovaee@mgupp.ru</a>	 0000-0002-3341-0722
Татьяна В. Тулякова <sup>1</sup>	<a href="mailto:tulyakovatv@mgupp.ru">tulyakovatv@mgupp.ru</a>	 0000-0003-3778-8068
Елена Д. Горячева <sup>1</sup>	<a href="mailto:goryachevaed@mgupp.ru">goryachevaed@mgupp.ru</a>	 0000-0002-7526-6503

<sup>1</sup> Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, дом 11, г. Москва, 125080, Россия

**Аннотация.** Биотестирование относительно новая методика, известная научному сообществу порядка 30 лет. В статье рассмотрен метод определения общей токсичности путем биотестирования с использованием инфузорий. Для методики могут применяться микроорганизмы 4-х родов: *Tetrahymena*, *Stylonicha*, *Paramecium*, *Colpoda*. Метод используется в продуктах питания и кормах. Приведены преимущества использования данного метода по сравнению с традиционными методами. В статье были проанализированы результаты патентного поиска по данной теме. Цель исследования состояла в системном анализе, обобщении информации, полученных из 2-х баз данных: Федеральный институт промышленной собственности, Google Patents. Были заданы критерии отбора патентов по вопросу биотестирования. В результате скрининга были отобраны 10 документов об охране интеллектуальной собственности. Выявлено, что большая часть патентов содержит описание методик определения общей токсичности с помощью инфузорий. Пик оформления патентов по данной теме приходится на 2000-е года. В 40% документов описываются данные, не относящиеся к конкретному роду инфузорий

**Ключевые слова:** биотестирование, патент, инфузория, пищевые продукты, анализ.

## Patent documentation analysis on bioassay issues in food products

Anna E. Dzhabakova <sup>1</sup>	<a href="mailto:dzhabakovaee@mgupp.ru">dzhabakovaee@mgupp.ru</a>	 0000-0002-3341-0722
Tatiana V. Tulyakova <sup>1</sup>	<a href="mailto:tulyakovatv@mgupp.ru">tulyakovatv@mgupp.ru</a>	 0000-0003-3778-8068
Elena D. Goryacheva <sup>1</sup>	<a href="mailto:goryachevaed@mgupp.ru">goryachevaed@mgupp.ru</a>	 0000-0002-7526-6503

<sup>1</sup> Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125080, Russia

**Abstract.** Bioassay is considered to be a relatively new technique, known to the scientific community for about 30 years. This article covers a method of determining the total toxicity by bioassay using infusoria. Microorganisms from 4 genera can be used for the technique: *Tetrahymena*, *Stylonicha*, *Paramecium*, *Colpoda*. The method is used in food and feed. Advantages of using this method in comparison with traditional methods are given. The results of a patent search on this topic were analysed in the article. The aim of the research was to systematically analyze, summarize the information obtained from 2 databases: Federal Institute of Industrial Property, Google Patents. The criteria for the selection of patents on the subject of bioassay were set. As a result of the screening, 10 intellectual property documents were selected. The majority of the patents were found to describe techniques for determining total toxicity using infusoria. Patents on this topic peaked in the 2000s. Forty percent of the documents describe data not related to a specific genus of infusoria

**Keywords:** bioassay, patent, infusoria, food products, analysis.

### Введение

В соответствии с ТР ТС 021/2011 [1] вся пищевая продукция в обязательном порядке должна соответствовать гигиеническим требованиям, в том числе содержание тяжелых металлов. Для производителей пищевых продуктов, ритейлеров, а также при прохождении продуктов питания через таможенную необходимо осуществлять проверку показателей безопасности. Наличие тяжелых металлов характеризуются понятием токсичности продуктов. Существуют традиционные и альтернативные методы определения данных показателей. Традиционные методы показывают один конкретный показатель, не учитывая эффекта синергизма веществ.

В настоящее время есть потребность в определении комплексных показателей, которые будут качественно характеризовать безопасность продуктов [2].

Одним из таких методов является биотестирование [3]. Данный метод использует в качестве тест-системы различные биообъекты: как высшие животные, так и одноклеточные [4].

Инфузорий – являются одной из представителей тест-систем [5]. Данным методом определяют общую токсичность исследуемой пробы. В качестве био-тестеров используются одноклеточные организмы – инфузории [4]: род *Tetrahymena*; род *Stylonicha*; род *Paramecium*; род *Colpoda*.

Для цитирования

Джабакова А.Э., Тулякова Т.В., Горячева Е.Д. Анализ патентной документации по вопросам биотестирования в пищевых продуктах // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 110–114. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-110-114

For citation

Dzhabakova A.E., Tulyakova T.V., Goryacheva E.D. Patent documentation analysis on bioassay issues in food products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 110–114. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-110-114

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



При проведении анализа отслеживают параметры в зависимости от используемых микроорганизмов [5]: гибель инфузорий, поведение и размножение.

Данный метод имеет несколько преимуществ перед аналогами: быстрота проведения анализа, до 24 ч; относительная дешевизна методики; улавливают ультрамалые концентрации токсичных веществ; нет этической стороны вопроса при их использовании в исследовании; не нужно проходить дополнительное обучение для исследователя; не используется дорогое оборудование.

Метод определения общей токсичности применяют в пищевой промышленности: рыба и рыбные продукты [5], мясные продукты, молочные продукты [6, 7], пищевые добавки, корма [8], продукты пчеловодства [9] и другие продукты [10].

**Цель исследования** – проведение систематизации и обобщении данных из патентной библиотеки, касательно определения общей токсичности методом биотестирования с применением инфузорий.

### Материалы и методы

Объектом исследования являлись описание изобретений в информационно поисковой системе ФИПС [11] и Google Patents [12].

Ограничений по времени публикации патента не было выставлено.

В ходе сбора теоретических данных использовались общенаучные методы поиска, сопоставления, анализа, синтеза и описания систематизированной информации. Использована методика, представленная [13].

Поиск патентных данных осуществлялась по следующим параметрам (таблица 1).

Таблица 1.

Стратегия поиска патентных документов

Table 1.

Search strategy for patent documents

Параметр.   Parameter	Описание   Description
Источник   Source	официальный сайт ФИПС; Google Patents   official website of the FISP; Google Patents
Ключевые слова   Keywords	Общая токсичность, методы определения   Total toxicity, methods of determination
Предмет   Subject	Биотестирование с помощью инфузорий; Продукты питания; Оборудование Biotesting with infusoria; Foodstuffs; Equipment

### Результаты

В результате патентного поиска было выявлено небольшое количество патентов, поэтому не устанавливали ограничений по временному периоду.

В ходе анализа исключались патенты, которые не относились к определению токсичности в пищевых продуктах, а также, если в качестве биообъектов использовались не инфузории.

По остальным критериям подошли только 10 патентов.

В качестве биообъектов могут применяться несколько родов инфузории. Использование представителей инфузорий представлены на рисунке 1. В 40% патентов представленное изобретение относится к одноклеточным организмам инфузориям в целом, без уточнения конкретного рода для применения.

В остальных патентах используются рода *Tetrahymena*, *Stylonicha*, *Paramecium*. Не было обнаружено изобретений, в которых прописаны конкретные «специфические» действия для использования рода *Colpoda*.

Анализ по патентным данным позволяет сделать следующий вывод по предмету документа (рисунок 2). Предметом являлось оборудование (30%), когда описывались конструктивные особенности и правила эксплуатации. Кроме этого, остальная часть патентов (70%) предлагала методики по определению общей токсичности в продуктах питания и кормовых добавках.

Рассматривая документы с точки зрения выдачи патентных документов по годам и по городам (места нахождения патентообладателей), получились следующие данные (рисунок 3,4).

Как видно из рисунка 3, 80% патентов было получено после 2000-х годов, то есть основной всплеск интереса данной тематикой приходится на этот период. В 90-ые годы только 2 патента.

Анализ местонахождений патентообладателей (рисунок 4) показал следующие данные: 70% находятся в Москве, также есть еще два города Санкт-Петербург и Краснодар.

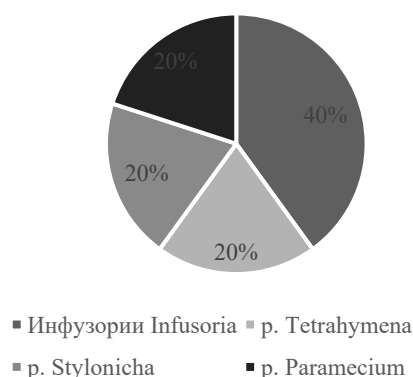


Рисунок 1. Использование различных родов инфузорий в патентах  
Figure 1. Use of different genera of infusoria in patents

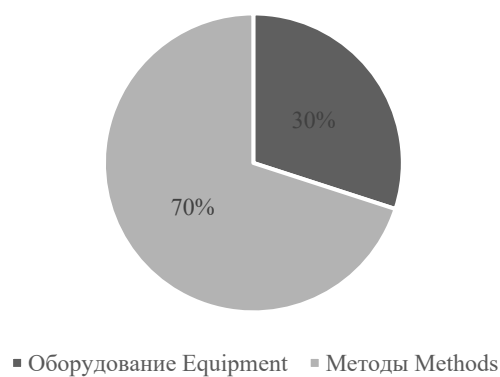


Рисунок 2. Предметы патентов  
Figure 2. Patent Subjects

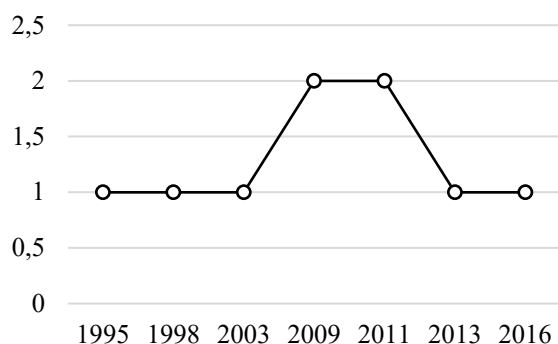


Рисунок 3. Выдача патентной документации по годам  
Figure 3. Issuance of patent documentation by year

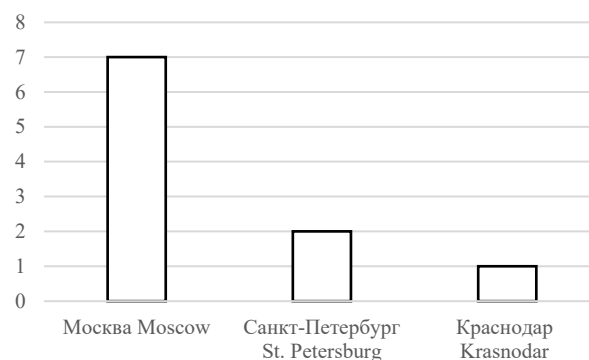


Рисунок 4. Анализ местонахождения патентообладателей  
Figure 4. Analysis of the location of patentees

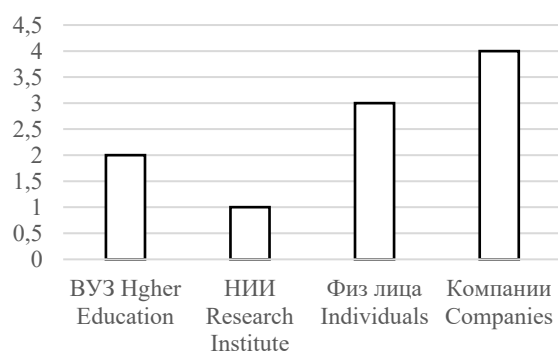


Рисунок 5. Анализ патентообладателей  
Figure 5. Analysis of patent holders

Кроме того, было изучено, кто является патентообладателем. Данные представлены на рисунке 5. Патентообладатели разделились на 4 категории: ВУЗы, НИИ, физические лица и компании. Превалируют по нашим данным компании (например, Общество с ограниченной ответственностью «БИОРЕАКТОР»)

и составляют 40% патентообладателей. Минимальный показатель – НИИ (Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии") – 10%.

### Обсуждение

После использования данной методики удалось обнаружить 10 патентных документов из двух поисковых систем: ФИПС; Google Patents.

Данные документы принадлежат российским патентообладателям, иностранных патентов по необходимым критериям не выявлено. В основном (70%) описывались методики определения общей токсичности в различных пищевых объектах с помощью инфузорий.

Большее внимание вопросу биотестирования с использованием инфузорий было уделено уже в 2000-х годах, что составило 70% патентов.

При анализе патентообладателей выяснилось, что 40% из них это компании, которые проводят свои исследования. Примером служит Общество с ограниченной ответственностью «БИОРЕАКТОР».

### Заключение

Метод биотестирования (с использованием инфузорий) известен научному сообществу, применяется порядка 30 лет. В патентной базе данных выявлено 10 источников по заявленным критериям отбора.

В результате мета-анализа было отмечено, что большинство патентов касалось методики проведения анализа. Объектом документов были корма и общая категория пищевые продукты без детализации по конкретному пищевому продукту. В дальнейших исследованиях необходимо проверить универсальность подходов в определении общей токсичности в различных пищевых продуктах.

### Литература

- 1 ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции. М.: Стандартинформ, 2011. 242 с.
- 2 Зарицкая Е.В., Полозова Е.В., Богачева А.С. Современные альтернативные токсикологические методы исследования и перспективы их использования в практической деятельности // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 7. С. 671–674.
- 3 Vilas-Boas J.A., Cardoso S.J., Senra M.V.X., Rico A., Dias R.J.P. Ciliates as model organisms for the ecotoxicological risk assessment of heavy metals: A meta-analysis // Ecotoxicol Environ Saf. 2020. V.199, P. 1–21/ DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110669
- 4 Wlodkowic D., Jansen M. High-throughput screening paradigms in ecotoxicity testing: Emerging prospects and ongoing challenges // Chemosphere. V. 307. Part 2. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135929
- 5 Карпенко Ю.В., Кращенко В.В. Биотестирование рыбной кулинарной продукции с использованием *Tetrahymena pyriformis* // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 3. С. 132–140.
- 6 Truhachev V., Sycheva O., Shlykov S., Hodusov A., Zakotin V. Determination of the number of somatic cells in milk by biotesting method. Proceedings of XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science", Rostov-on-Don, 10–13 September 2019. Rostov-on-Don, 2019. pp. 1–7. doi:10.1088/1755-1315/403/1/012056 (in Russian).
- 7 Zobkova, Z.S., Lazareva, E.G., Semipyatniy, V.K. Methodological Approach to Designing Fermented Dairy Products with Optimal Biological Value. Foods 2022, 11, 114. Doi: 10.3390/foods11010114
- 8 Шадрин И.А., Аветисян А.Т. Инфузории в оценке токсичности семенного материала кормовых культур // Вестник КрасГАУ. 2015. № 4. С. 80–82.
- 9 Долгов В.А. Лавина С.А., Никитченко В.Е., Серегин И.Г. Биологическая оценка качества и безопасности продуктов пчеловодства // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. 2017. Т. 12. № 3. С. 272–278.
- 10 Тянь Е.А., Пермяков А.А., Котомина Г.А. Определение общей токсичности овсяных хлопьев «геркулес» биотестированием на инфузориях стилонихиях (*Stylonychia Mytilus*) // Контроль качества и безопасности продукции. Серия: Инновации и продовольственная безопасность. 2018. № 1(19). С. 45–47.
- 11 Федеральный институт промышленной собственности. ГКД: <http://www.fips.ru>
- 12 Google Patents. ГКД: <http://www.google.com>
- 13 Сагингалиева А.Г., Гумаров Г.С., Коновалов В.В., Машанова Н.С. Анализ базы патентов на изобретения продукции с использованием сырья растения рода боярышник // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021. Т. 10. No 4 (56). С. 143–149. doi: 10.46548/21vek-2021-1056-0029.

### References

- 1 CU TR 021/2011 on safety of food products. Moscow: Standartinform, 2011. 242 с.
- 2 Zaritskaya E.V., Polozova E.V., Bogacheva A.S. Modern alternative toxicological research methods and prospects for their use in practice // Hygiene and Sanitation. 2017. T. 96. № 7. C. 671–674.
- 3 Vilas-Boas J.A., Cardoso S.J., Senra M.V.X., Rico A., Dias R.J.P. Ciliates as model organisms for the ecotoxicological risk assessment of heavy metals: A meta-analysis // Ecotoxicol Environ Saf. 2020. V.199, P. 1–21/ DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110669
- 4 Wlodkowic D., Jansen M. High-throughput screening paradigms in ecotoxicity testing: Emerging prospects and ongoing challenges // Chemosphere. V. 307. Part 2. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135929
- 5 Karpenko Y.V., Krashchenko V.V. Biotesting of fish culinary products using *Tetrahymena pyriformis* // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2019. № 3. C. 132–140.
- 6 Truhachev V., Sycheva O., Shlykov S., Hodusov A., Zakotin V. Determination of the number of somatic cells in milk by biotesting method. Proceedings of XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science", Rostov-on-Don, 10–13 September 2019. Rostov-on-Don, 2019. pp. 1–7. doi:10.1088/1755-1315/403/1/012056 (in Russian).
- 7 Zobkova, Z.S., Lazareva, E.G., Semipyatniy, V.K. Methodological Approach to Designing Fermented Dairy Products with Optimal Biological Value. Foods 2022, 11, 114. Doi: org/10.3390/foods11010114.

8 Shadrin I.A., Avetisyan A.T. Infusoria in assessment of seed toxicity of fodder crops // Vestnik of Krasnoyarsk State Agrarian University. 2015. № 4. С. 80–82.

9 Dolgov V.A. Lavina S.A., Nikitchenko V.E., Seregin I.G. Biological evaluation of the quality and safety of beekeeping products // Vestnik of the Russian University of Peoples Friendship. Series: Agronomy and animal husbandry. 2017. Т. 12. № 3. С. 272–278.

10 Tyan E.A., Permyakov A.A., Kotomina G.A. Determination of total toxicity of oat flakes "Hercules" by bioassay on *Stylonychia infusoria* (*Stylonychia mytilus*) // Product Quality and Safety Control Series: Innovations and Food Safety. 2018. № 1(19). С. 45–47.


11 Federal Institute of Industrial Property. Available at: <http://www.fips.ru>

12 Google Patents. Available at: <http://www.google.com>


13 Sagingalieva A.G., Gumarov G.S., Kononov V.V., Mashanova N.S. Analysis of the base of patents for inventions of products using raw materials from plants of the genus hawthorn. XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2021. vol. 10. no. 4 (56). pp. 143–149. doi: 10.46548/21vek 2021–1056–0029

#### Сведения об авторах


**Анна Э. Джабакова** старший преподаватель, кафедра пищевая безопасность, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе 11, г. Москва, 125080, Россия, [dzhabakovaee@mgupp.ru](mailto:dzhabakovaee@mgupp.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-3341-0722>

**Татьяна В. Тулякова** д.т.н., профессор, кафедра пищевая безопасность, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе 11, г. Москва, 125080, Россия, [tulyakovatv@mgupp.ru](mailto:tulyakovatv@mgupp.ru)

 <https://orcid.org/0000-0003-3778-8068>

**Елена Д. Горячева** к.т.н., заведующий кафедрой, кафедра пищевая безопасность, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе 11, г. Москва, 125080, Россия, [goryachevaed@mgupp.ru](mailto:goryachevaed@mgupp.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-7526-6503>

#### 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


**Anna E. Dzhabakova** senior lecturer, food safety department, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125080, Russia, [dzhabakovaee@mgupp.ru](mailto:dzhabakovaee@mgupp.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-3341-0722>

**Tatiana V. Tulyakova** Dr. Sci. (Techn.), professor, food safety department, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125080, Russia, [tulyakovatv@mgupp.ru](mailto:tulyakovatv@mgupp.ru)

 <https://orcid.org/0000-0003-3778-8068>

**Elena D. Goryacheva** Cand. Sci. (Techn.), head of department, food safety department, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125080, Russia, [goryachevaed@mgupp.ru](mailto:goryachevaed@mgupp.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-7526-6503>

#### 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 22/06/2022	После редакции 13/07/2022	Принята в печать 25/07/2022
Received 22/06/2022	Accepted in revised 13/07/2022	Accepted 25/07/2022

## Возможности использования биологически активных веществ растений в терапии рака лёгкого

Владислав Ю. Буслаев	<sup>1</sup>	<a href="mailto:vladislabus2358@ya.ru">vladislabus2358@ya.ru</a>	 0000-0001-5566-5323
Варвара И. Минина	<sup>1,2</sup>	<a href="mailto:vminina@mail.ru">vminina@mail.ru</a>	 0000-0003-3485-9123
Анастасия В. Торгунакова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:a.vryzhkova@yandex.ru">a.vryzhkova@yandex.ru</a>	 0000-0001-5643-5001
Ольга А. Соболева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:soboleva.olga88@ya.ru">soboleva.olga88@ya.ru</a>	 0000-0001-7183-6647
Анна В. Марущак	<sup>1</sup>	<a href="mailto:krestiannikova997@mail.ru">krestiannikova997@mail.ru</a>	 0000-0002-9560-7563
Анастасия А. Яковлева	<sup>2</sup>	<a href="mailto:asya-kemerovo2012@ya.ru">asya-kemerovo2012@ya.ru</a>	 0000-0002-6987-8247







<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, пр-т Советский, 18, г. Кемерово, 650000, Россия

<sup>2</sup> Кемеровский государственный университет, улица Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия

**Аннотация.** В настоящее время отмечается значительный интерес к возможности использования биологически активных веществ для решения задач не только профилактики, но и терапии заболеваний человека. Их богатым источником традиционно считаются лекарственные растения, обладающие высоким фармакологическим потенциалом. Терапевтические свойства биологически активных веществ растений были продемонстрированы на примере многих распространённых заболеваний человека. В данном систематическом обзоре обсуждается перспективность применения экстрактов растений в терапии рака лёгкого. Был осуществлен поиск научных статей с использованием баз данных Medline, Scopus, WoS, Pubmed. Их текст был опубликован в открытом доступе на английском языке. В результате анализа источников литературы был сделан вывод о значимом терапевтическом потенциале экстрактов растений и перспективности разработки новых стратегий лечения рака лёгкого, включающих биологически активные вещества наряду с классическими подходами (с химиотерапевтическими агентами, таргетными препаратами, облучением).

**Ключевые слова:** биологически активные вещества, экстракты растений, рак лёгкого, молекулярные механизмы, терапевтические свойства.

## Abilities of biologically active compounds usage in lung cancer therapy

Vladislav Yu. Buslaev	<sup>1</sup>	<a href="mailto:vladislabus2358@ya.ru">vladislabus2358@ya.ru</a>	 0000-0001-5566-5323
Varvara I. Minina	<sup>1,2</sup>	<a href="mailto:vminina@mail.ru">vminina@mail.ru</a>	 0000-0003-3485-9123
Anastasia V. Torgunakova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:a.vryzhkova@yandex.ru">a.vryzhkova@yandex.ru</a>	 0000-0001-5643-5001
Olga A. Soboleva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:soboleva.olga88@ya.ru">soboleva.olga88@ya.ru</a>	 0000-0001-7183-6647
Anna V. Marushchak	<sup>1</sup>	<a href="mailto:krestiannikova997@mail.ru">krestiannikova997@mail.ru</a>	 0000-0002-9560-7563
Anastasia V. Yakovleva	<sup>2</sup>	<a href="mailto:asya-kemerovo2012@ya.ru">asya-kemerovo2012@ya.ru</a>	 0000-0002-6987-8247

<sup>1</sup> Federal research centre of SB RAS, Sovetskiy Av., 18, Kemerovo, 650000, Russia

<sup>2</sup> Kemerovo state university, Krasnaya str., 6, Kemerovo, 650000, Russia

**Abstract.** At present time it is noticed significant interest for ability of biologically active compounds usage not only for prevention but also for therapy of human diseases. Traditionally medical plants with high pharmacological potential are rich source for them. Therapeutical features of plants were demonstrated on example of many widespread human diseases. In this systematic review perspectives of plant extracts application in lung cancer therapy has been discussed. It was carried out research of scientific publications using Medline, Scopus, WoS, Pubmed databases. Their text was published in open access in English. As a result of analysis it was made a conclusion about significant therapeutical potential of plant extracts and perspectives of development of new strategies of lung cancer treatment, that are included biologically active compounds with classical approaches (chemoterapeutical agents, target substances and radiation).

**Keywords:** biologically active substances, plant extracts, lung cancer, molecular mechanisms, therapeutical features.

### Введение

В настоящее время рак лёгкого (РЛ) занимает первое место среди онкологических заболеваний по уровню смертности во всем мире. Каждый год регистрируется порядка

2,3 миллионов новых случаев и 1,8 миллионов летальных исходов [1]. К традиционным методам лечения РЛ относятся различные протоколы химиотерапии, вызывающие повреждения молекулы ДНК в опухолевых клетках и инициацию их апоптоза.

#### Для цитирования

Буслаев В.Ю., Минина В.И., Торгунакова А.В., Соболева О.А., Марущак А.В., Яковлева А.А. Возможности использования биологически активных веществ растений в терапии рака лёгкого // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 115–123. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-115-123

#### For citation

Buslaev V.Y., Minina V.I., Torgunakova A.V., Soboleva O.A., Marushchak A.V., Yakovleva A.A. Abilities of biologically active compounds usage in lung cancer therapy. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 115–123. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-115-123

Одновременно с этим повреждаются и нормальные, не трансформированные клетки организма, индуцируется образование вторичных опухолей. Поэтому поиск препаратов, способствующих снижению деструктивных эффектов противоопухолевой терапии, является приоритетной целью.

К перспективным направлениям относится получение биологически активных (БАВ) из растений и их дальнейшее использование в терапии. Комплексное использование данных препаратов с химиотерапевтическими агентами может повышать эффективность лечения онкологических заболеваний [2]. Полагают, что применение лекарственных растений также может быть эффективно при терапии РЛ [3]. Потенциальные механизмы антираковых свойств растительных экстрактов были исследованы и подтверждены с использованием методов клеточного культивирования, а также новых подходов молекулярной биологии. Главным образом, они связаны с воздействием на определённые сигнальные пути в клетке [4]. Подробное исследование этих свойств необходимо для оптимизации использования БАВ с целью повышения эффективности терапии.

Терапевтические свойства БАВ можно рассмотреть на примере наиболее распространённых и широко применяемых растительных экстрактов. К ним относятся байкалин, байкалеин, ресвератрол, кверцетин и куркумин. Байкалин является БАВ растительного происхождения, выделенным из корня шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis*). Данное растение из семейства яснотковых активно применялось для лечения различных патологий в китайской традиционной медицине. По своей химической структуре байкалин является липофильным флавоноидным гликозидом. Отмечены его антиоксидантные, нейропротективные, противовоспалительные, противовирусные и противоопухолевые свойства [5]. Байкалеин относится к типичным флавоноидам, также полученным в результате экстракции из растений *Scutellaria baicalensis*. В настоящее время для данного вещества был определён разнообразный спектр терапевтических свойств, включая антиоксидативные, противовоспалительные и гепатопротективные свойства. Особое внимание уделяется исследованию противораковых свойств данного вещества [6].

Ресвератрол (3,5,4-тригидрокси-транс-стильбен) относится к растительным экстрактам, в больших количествах он содержится в винограде, шелковице, малине, арахисе.

Данное вещество известно своей нейропротективной, фунгицидной и противовирусной активностью. Ресвератрол участвует в ингибировании пролиферации и воспалительных процессов на примере клеточных моделей эндометриоза [7]. Нейропротективные эффекты заключаются в предупреждении разрушения нервных клеток и снижении воспаления [8]. Противоопухолевые свойства ресвератрола отмечены на примере многих онкологических заболеваний.

Куркумин (диферулоилметан) – жёлтый пигмент, растительный экстракт, получаемый преимущественно из растений вида *Curcuma longa*. Физиологические эффекты экстракта заключаются в лечении диабета, стабилизации функции мозга, противовоспалительной и антиоксидативной активности. Вещество относится к полифенолам и способно участвовать в проведении сигналов в различных клетках, участвуя в модуляции определённых сигнальных путей [9].

Кверцетин относится к группе БАВ-флавоноидов, выделяемых из растений. С помощью лабораторных животных были показаны антиоксидативные эффекты кверцетина, которые могут применяться при лечении сердечно-сосудистой системы. Его применение связано с предупреждением развития хронических заболеваний сосудов и снижением артериальной гипертензии [10]. В последнее время активно разрабатываются подходы по использованию противовирусных свойств данного препарата.

В связи с этим целью данного систематического обзора было обобщение современных данных о возможности использования данных растительных экстрактов в терапии рака лёгкого.

## Материалы и методы

Поиск научных статей для систематического обзора проводился с использованием баз данных Medline, Scopus, Web of Science, Pubmed. Были использованы ключевые слова: molecular mechanisms, therapeutic features, plant extracts в сочетании с lung cancer.

Критерии включения. Для составления систематического обзора были использованы научные работы, опубликованные за последние 10 лет, текст которых был доступен на английском языке. Использовался текст, размещённый в ресурсах Medline, Scopus, Web of Science, Pubmed. В раздел «результаты» систематического обзора главным образом включались научные работы, рассматривавшие вопросы



применения растительных экстрактов при терапии РЛ. Также преимущественно отбирались научные работы с данными о молекулярно-биологических механизмах терапии РЛ с участием БАВ растений.

Критерии исключения. В систематический обзор не включались статьи, рассматривавшие эффекты действия фитохимических препаратов с использованием цитогенетических методов. В обзор не были включены научные статьи, опубликованные более 10 лет назад. В конечном итоге в систематический обзор было включено 38 статей. В шести статьях описывались эффекты действия байкалина, в 3 статьях – байкалеина, в 7 – ресвератрола, в 8 – куркумина, а также 9 – кверцетина.

### Результаты

При использовании байкалина наблюдалось снижение резистентности клеток РЛ к цисплатину [11]. В исследовании были использованы клеточные линии A549 и A549/DPP, которые последовательно подвергались совместному воздействию двух веществ. В составе линии A549/DPP после обработки цисплатином, факторы MARK2 и p-Akt характеризовались повышенной степенью своей экспрессии. Действие байкалина обуславливало снижение уровня синтеза мРНК этих киназ. Дозо-зависимые эффекты активности байкалина способствовали снижению синтеза MARK2 и p-Akt на уровне белка. Синергический эффект байкалина и цисплатина заключался в подавлении пролиферативной активности клеток РЛ и их инвазии через воздействие на эффекторные киназы. Было установлено, что эффективность терапии РЛ определяется особенностями репарационного потенциала раковых клеток. Недавнее исследование указало на возможность снижения резистентности опухолей РЛ к цисплатину при использовании байкалина [12].

Хемопревентивные свойства ресвератрола были показаны на лабораторных животных с наличием легочного канцерогенеза [13]. Лабораторные животные (крысы) подвергались воздействию различных химических субстанций, после чего фиксировалось изменение определённых характеристик. Животные были разделены на пять исследуемых групп, подвергавшихся воздействию бенз[а]пирена, куркумина, ресвератрола, а также куркумина и ресвератрола. Воздействие бенз[а]пирена приводило к повышению синтетической активности фермента, метаболизирующего ПАУ (арил-гидрокарбонгидроксилазы).

Гистологические исследования тканей лёгких позволили установить, что воздействие куркумина и ресвератрола приводило к снижению процессов, ассоциированных с онкогенезом. Наблюдалось отсутствие ядерного полиморфизма, уменьшение размеров ядра и отсутствие повышенной вакуолизации.

Эффективность использования цисплатина при терапии немелкоклеточной формы РЛ может повышаться при условии добавления куркумина. Куркумин, в свою очередь, усиливает чувствительность опухоли к действию цисплатина, воздействуя на стрессорный сигнальный путь, ассоциированный с эндоплазматическим ретикуломом [14]. Для раскрытия этих механизмов клеточные линии A549/DDP и H1299/DDP подвергались обработке цисплатином и куркумином. Далее осуществлялась оценка уровня синтеза факторов, задействованных в апоптозе, реакциях клеточного стресса (реализуемого с участием эндоплазматического ретикулума). К целевым факторам для исследования относились: каспазы 3 и 4, PARP, CHOP, GRP78, XBP-1 и ATF-6. Совместное применение куркумина и цисплатина на исследованных клетках позволило обнаружить тенденцию к подавлению их выживаемости. Факторы, задействованные в апоптозе и клеточном стрессе, характеризовались повышением своего синтеза как на уровне мРНК, так и на уровне белковых молекул. Сигнальный путь клеточного стресса, реализуемый белками эндоплазматического ретикулума, может активно использоваться как терапевтическая мишень.

При лечении мелкоклеточной формы РЛ рассматривается возможность применения адьювантной терапии с участием ресвератрола. В данном исследовании были оценены свойства ресвератрола на примере клеточной линии мелкоклеточного РЛ H446 [15]. В составе этой клеточной линии в процессе воздействия ресвератрола были оценены показатели экспрессии цитохрома C, работа сигнального пути PIK3K/Akt/c-Myc, а также особенности ядерной транслокации проапоптозного фактора AIF. Были также оценены показатели оксидативного стресса и мембранный потенциал митохондрий. В результате активности ресвератрола было зафиксировано повышение экспрессии цитохрома C, блокировка работы PIK3K/Akt/c-Myc, также инициировалась транслокация фактора AIF из цитоплазмы в ядро. Было обнаружено повышение оксидативного стресса и деполяризация ядерной мембраны, что вносило вклад в развитие апоптоза в клетках линии H446.

Генетические особенности пациентов не позволяют эффективно применять химиотерапевтический препарат гефитиниб. Это связано с наличием большого количества мутаций в генах EGFR и KRAS. Для куркумина были отмечены молекулярные механизмы, которые позволяют подавлять резистентность опухолей к действию гефитиниба при запуске клеточной смерти, ассоциированной с аутофагией [16]. Клетки немелкоклеточной формы РЛ H157 и H1299, содержащие мутации дикого типа в генах EGFR и KRAS подвергались одиночному и совместному действию куркумина и гефитиниба. После обработки оценивалась активность EGFR, а также белка SP1 и ассоциированных с ним белков. Активность рецепторных тирозин-киназ была изучена для определения возможности реализации клеточной смерти по типу аутофагии. В результате совместного использования куркумина и гефитиниба была осуществлена блокировка активности EGFR, через подавление фактора SP1.

При изучении антираковых свойств и других фармакологических эффектов растительных экстрактов на клетках опухоли важно оценивать показатели клеток окружения опухоли. Окружение опухоли представляет собой популяцию, состоящую из столовых клеток, которая потенциально может предопределять уровень резистентности опухоли к химиотерапии. С целью тестирования ингибиторных свойств куркумина было проведено исследование с использованием клеток A459 лабораторных мышей [17]. Использовался материал окружения опухоли и клеток, не относящихся к данной популяции. В ходе анализа активности куркумина оценивались множественные параметры клеток: размер и вес опухоли, экспрессия факторов Notch, HIF-1 (индуцирующего гипоксию), а также фактора роста эндотелия (VEGF) и ядерного фактора NF- $\kappa$ B. Эффекты куркумина определяли снижение показателей роста опухоли (снижался её вес и размер), на уровне мРНК экспрессия Notch и HIF-1 подавлялась. Также происходило снижение экспрессии VEGF и NF- $\kappa$ B. Было установлено, что куркумин может подавлять рост опухоли путём ингибирования ангиогенеза, влияя на активность VEGF.

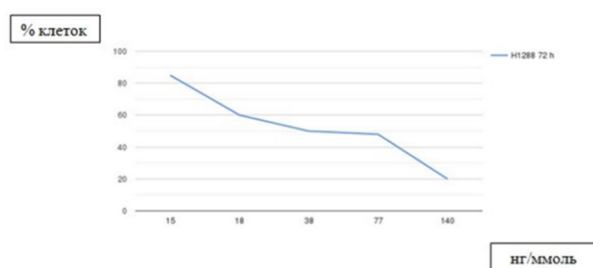
Кверцетин совместно с куркумином может контролировать ход посттрансляционных модификаций p53 и влиять на развитие канцерогенеза [18]. Антираковые эффекты в данном случае прослеживаются на примере РЛ, индуцированного бенз[а]пиреном. Было сформировано несколько групп лабораторных животных

для исследования: контроль; группа, подвергнутая воздействию бенз[а]пиреном; куркумином; кверцетином; а также бенз[а]пиреном, куркумином и кверцетином вместе. Активность куркумина и кверцетина была ассоциирована с повышением содержания ацетилированного p53, уровень которого подавлялся с участием бенз[а]пирена. Кроме того, куркумин и кверцетин способствовали уменьшению уровня фосфорилированного p53. Повышенная активность каспаз 3 и 9 индуцировала апоптоз при условии воздействия куркумином и кверцетином. Активность фитохимических соединений способствовала улучшению гистологических показателей опухоли.

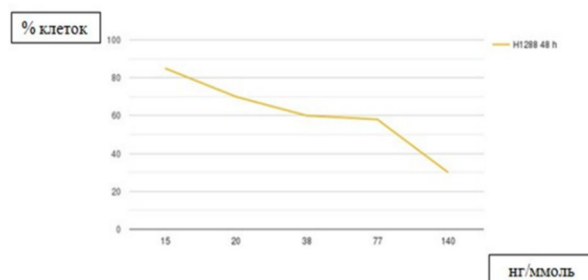
Ранее также были получены сведения о возможных протективных эффектах фитохимических свойств кверцетина относительно легочного канцерогенеза [19]. Активность куркумина и кверцетина также была противопоставлена бенз[а]пирену. Лабораторные животные подвергавшиеся действию бенз[а]пирена имели повышенные показатели перекисного окисления липидов по причине усиленного синтеза активных форм кислорода. Активность цитохромов (450 и b5), метаболизирующих ксенобиотики, повышалась. Куркумин и кверцетин способствовали снижению окислительных процессов в клетке и уменьшению активности компонентов биотрансформации ксенобиотиков. Формирование стабильного антиоксидативного статуса способствует эффективному снижению патологических процессов, связанных с РЛ.

Были оценены потенциальные протективные свойства кверцетина не только как лекарственного препарата, но и пищевого компонента. Было сделано предположение о том, что пища, богатая содержанием кверцетина, может предупреждать риск развития РЛ [20]. В данном случае кверцетин проявляет свои свойства через регуляцию экспрессии определённых микроРНК. Исследования семейных случаев аденокарциномы лёгкого указало на возможность регуляции дифференциальной экспрессии микроРНК из группы let-7. Также были отмечены изменения показателей экспрессии молекул miR-146, miR-26, miR-17. Среди курящих пациентов было обнаружено 33 молекулы микроРНК, экспрессия которых значимо различалась в зависимости от состава употребляемой пищи. В итоге были установлены ключевые молекулы микроРНК, которые изменяли экспрессию в зависимости от уровня содержания кверцетина в пище.

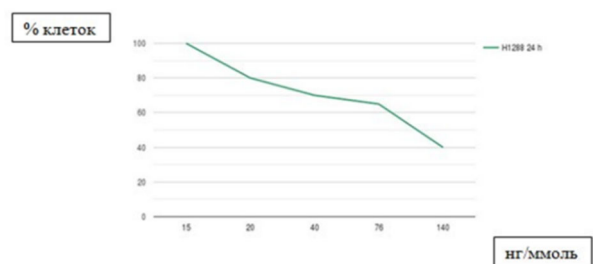
Недавнее исследование показало возможность снижения карциногенных эффектов определённых химических веществ через реализацию специфических молекулярных механизмов [21]. В качестве канцерогена был выбран мышьяк, так как его употребление с питьевой водой может многократно увеличивать риски развития многих онкопатологий. Его прокарциногенные эффекты связаны с повышением оксидативного стресса, воздействием на систему репарации ДНК и последующими повреждениями в молекуле ДНК. В этом исследовании показана возможность снижения онкогенных свойств мышьяка. В качестве основного механизма активности препарата кверцетина было развитие апоптоза раковых клеток в дозо-зависимом режиме. Под его воздействием клетки опухоли, предварительно обработанные мышьяком, теряли способность к активной пролиферации. Дополнительно в составе раковых клеток последовательно индуцировались двойные разрывы в ДНК по причине повышения оксидативного стресса.



(a)



(b)



(c)

Рисунок 1. Дозо-зависимые эффекты байкалина на показатели выживаемости клеток H1288; а) 24-часовое воздействие байкалина; б) 48-часовое воздействие байкалина; в) 72-часовое воздействие байкалина

Figure 1. Dose-dependent effects of baicalin on survival parameters of H1288 cells: a) 24-hour action of baicalin; b) 48-hour action of baicalin; c) 72-hour action of baicalin

Продукция активных форм кислорода, в свою очередь, активировала каспазу-3, которая запускала механизмы программируемой клеточной смерти.

Эффективность использования растительных экстрактов в терапии РЛ во многих исследованиях была продемонстрирована в дозо-зависимом режиме. Действие байкалина на линии H1299 и H1650 характеризовалось цитотоксичностью и понижением выживаемости раковых клеток [22]. После воздействия определёнными концентрациями байкалина в разные промежутки времени был подсчитан процент жизнеспособных клеток (рисунок 1). Ресвератрол может усиливать активность цитокина TRAIL при развитии апоптоза раковых клеток в дозо-зависимом режиме [23]. Добавление разных концентраций ресвератрола (0; 12,5; 50 мМоль) при 12-часовом действии 100 нг/мМоль TRAIL обуславливало последовательное снижение жизнеспособности клеток линий A549 и HCC-15 (рисунок 2).

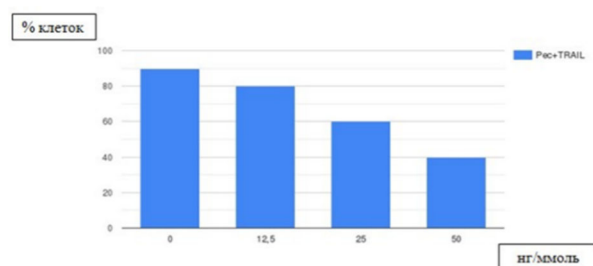


Рисунок 2. Ресвератрол (Рес.) обеспечивает усиление апоптоза, опосредованного активностью фактора TRAIL

Figure 2. Resveratrol (Res.) enhances apoptosis, caused by activity of TRAIL factor

С учётом разнообразных терапевтических свойств растительных экстрактов относительно развития РЛ, активно осуществляется оптимизация их использования в качестве

лекарственных препаратов. На основе байкалина производятся наномицеллы при добавлении дополнительных агентов (стеариновой кислоты и кополимера Pluronic F-68).

При создании наномицелл необходимо учитывать определённые параметры: размеры, особенности поверхности, коллоидную стабильность и морфологию. Был осуществлён их дизайн, продемонстрирована эффективная цитотоксическая активность относительно клеточной линии РЛ А549 [24]. На примере ресвератрола была также показана возможность создания наночастиц с их последующим терапевтическим применением. Учитывая его физико-химические свойства, ресвератрол помещённый в подобные структуры успешно применяется в терапии многих онкопатологий, включая РЛ [25]. С использованием лабораторных мышей рассматривалась возможность интраназального применения ресвератрола для лечения РЛ [26]. Оптимизация использования куркумина в качестве терапевтического средства связана с созданием [27]. Активно рассматриваются способы синтеза наномицелл, наночастиц, углеродных нанотрубок, суспензий, в состав которых помещается куркумин. Возможность создания эффективных препаратов для терапии РЛ на основе кверцетина также рассматривается с применением нанолипосом [28].

### Обсуждение

Многочисленные примеры противоопухолевого действия растительных БАВ на опухолевые клетки РЛ ставят вопрос о фундаментальных механизмах такого влияния. Подойти к пониманию этого вопроса позволяет использование высокопроизводительных технологий. Так, активно используются транскриптомные технологии, позволяющие установить изменение активности ключевых генов-регуляторов. Например, глобальное профилирование транскриптома клеток H446 для изучения антираковых эффектов куркумина показало, что экспрессия генов, связанных с контролем клеточного цикла была подавлена, а для микроРНК miRNA-548ah-5p, напротив, было отмечено повышение активности [29].

Воздействие на молекулярные сигнальные пути, задействованные в онкогенезе, лежит в основе противораковых свойств БАВ растений и является наиболее эффективным механизмом борьбы с опухолями. Обобщая подобные работы, можно выделить несколько значимых молекулярных сигнальных путей (таблица 1). При изучении эффектов байкалина было установлено влияние на серин / треонин-киназу PDK1, которая участвует в миграции и усилении клеточной пролиферации. Как следствие, отмечается снижение выживаемости опухолевых клеток [30].

Таблица 1.

Молекулярные сигнальные пути,  
контролируемые БАВ растений

Table 1.

Molecular signaling pathways, controlled by  
biologically active compounds of plants

Растительный экстракт Plant extract	Молекулярный сигнальный путь Molecular signaling pathway	Источник Ref
Байкалин   Baicalin	PDK1/AKT	[30]
Байкалеин   Baicalein	TFAE-PI3K/Akt-TWIST1	[31]
Ресвератрол   Resveratrol	Notch-1	[33]
Кверцетин   Quercetin	Snail-ADAM9	[36]

Байкалеин наряду с вогонином и ороксалином А входит в общую группу флавоноидных агликонов, экстрагированных из *Scutellaria baicalensis*. Совокупный эффект их действия заключается в уменьшении возможности инвазии и миграции клеток РЛ. На примере немелкоклеточной формы РЛ показаны ингибирующие свойства байкалеина, вогонина и ороксалина А относительно процесса эпителиально-мезенхимальной транзиции [31]. Была установлена возможность взаимодействия с путём PI3K/Akt, в особенности с ключевым фактором TWIST1. Использование байкалина вместе с другими терапевтическими растительными экстрактами может способствовать снижению риска метастазирования в случае образования немелкоклеточной формы РЛ. PI3K/Akt рассматривается как важный сигнальный путь, повышающий возможность выживаемости и резистентности клеток опухоли. В этой связи было разработано определённое количество его ингибиторов с целью повышения эффективности терапии немелкоклеточного РЛ [32]. Фактор TWIST как транскрипционный фактор обеспечивает работу эпителиально-мезенхимального перехода, который играет важную роль в онкогенезе. В частности, TWIST1 обеспечивает супрессию реакций апоптоза и клеточного старения.

Куркумин участвует в супрессии фактора EZH2 через микроРНК (miR) – let 7c и miR-101. Ингибирование EZH2 сопровождается подавлением экспрессии Notch-1-фактора [33]. Этот специфический сигнальный каскад создаёт основу для проявления противораковых свойств куркумина. На примере клеток РЛ в данном случае было отмечено замедление их роста, а также снижение возможности развития метастазирования. EZH2 является ключевым компонентом репрессирующего комплекса polycomb-белков у человека и участвует в триметилировании гистоновых белков H3K27. Notch-1-фактор работает как классический онкоген, участвуя в инициации развития опухоли, в то время как notch-2 относится к онкосупрессорам. Онкогенез под действием Notch-1 реализуется путём влияния на факторы Hes1 и Ras/MAPK [34; 35].

Свойства кверцетина могут быть использованы для борьбы с метастазированием РЛ. Данный фитохимический агент имеет способность к замедлению клеточной миграции и инвазии. Эти явления могут быть реализованы через воздействие на путь передачи сигналов от эпителия к мезенхиме, опосредованным фактором Snail [36]. Контроль инвазивной активности клеток немелкоклеточного РЛ (A549 и HCC827) происходил посредством усиления экспрессии факторов maspin и металлопротеиназы ADAM9. Snail относится к семейству транскрипционных факторов с наличием «цинкового пальца» и является активатором E-кадгерина и ключевым регулятором эпителиально-мезенхимального перехода. Его участие в развитии опухолеобразования указывает на необходимость создания ингибиторов Snail [37]. Исследование клеток РЛ с использованием метода РНК-секвенирования позволило установить, что фактор ADAM9 участвует в инициации развития метастазов [38]. Уменьшение его активности может приводить к снижению клеточной пролиферации и миграции, что важно в контексте терапии РЛ.

### Заключение

В данном систематическом обзоре были рассмотрены возможности использования фитохимических агентов в терапии рака лёгкого.

В исследованиях, включенных в обзор, рассматривались разнообразные примеры и механизмы терапевтического действия растительных экстрактов. Главным образом, это может быть реализовано через различные сигнальные пути, задействованные в инициации злокачественной трансформации. Кроме того, была отмечена эффективность использования химиотерапевтических агентов совместно с растительными экстрактами. Эффекты были связаны со снижением токсического действия противоопухолевых веществ через целенаправленное воздействие на сигнальные пути. Создание и дизайн новых лекарственных препаратов из растений является основной задачей новых стратегий антираковой терапии. Учитывая широкий спектр действия фитохимических агентов, необходимо проведение дальнейшего изучения их противоопухолевых эффектов. Этот этап целесообразно реализовывать с использованием клеточных технологий.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность кафедре генетики и фундаментальной медицины Кемеровского государственного университета, а также Федерального исследовательскому центру угля и углехимии СО РАН.

### Литература


- 1 Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., Laversanne M., Soerjomataram I. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. CA: A cancer journal for clinicians. 2021.no.3.pp.209–248. DOI: 10.3322/caac.21660
- 2 Pezzani R., Salehi B., Vitalini S., Iriti M. Synergistic Effects of Plant Derivatives and Conventional Chemotherapeutic Agents: An Update on the Cancer Perspective. Medicina. 2019. no. 4.pp.110–126. DOI:10.3390/medicina55040110
- 3 Chota A., George B.P., Abrahamse H. Potential Treatment of Breast and Lung Cancer Using Dicoma anomala, an African Medicinal Plant. Molecules. 2020.no.19.pp.1–17. DOI:10.3390/molecules25194435
- 4 Korothe J. et al. Investigation of anti-cancer and migrastatic properties of novel curcumin derivatives on breast and ovarian cancer cell lines. BMC Complement Altern Med. 2019. no.1.pp.273–289.
- 5 de Oliveira M.R., Nabavi S.F., Habtemariam S., Erdogan Orhan I., Daglia M., Nabavi S.M. The effects of baicalein and baicalin on mitochondrial function and dynamics: A review. Pharmacol Res. 2015.pp.296–308.
- 6 Lian H., Hui Y., Xiaoping T., Wei T., Jiye X., Xiaolan Y. Baicalein suppresses the proliferation of human cervical cancer cells via Notch 1/Hes signaling pathway. J Cancer Res Ther. 2019..no.6.pp.1216–1220.
- 7 Kolahdouz Mohammadi R., Arablou T. Resveratrol and endometriosis: In vitro and animal studies and underlying mechanisms (Review). Biomed Pharmacother. 2017.pp.220–228.
- 8 Teertam S.K., Jha S., Prakash Babu P. Up-regulation of Sirt1/miR-149–5p signaling may play a role in resveratrol induced protection against ischemia via p53 in rat brain. J Clin Neurosci. 2020.pp.402–411.
- 9 Rodrigues F.C. et al. Developments in the anticancer activity of structurally modified curcumin: An up-to-date review. European Journal of Medicinal Chemistry. 2019. pp. 76–104. DOI:10.1016/j.ejmech.2019.04.058
- 10 Brüll V. et al. Effects of a quercetin-rich onion skin extract on 24 h ambulatory blood pressure and endothelial function in overweight-to-obese patients with (pre-)hypertension: a randomised double-blinded placebo-controlled cross-over trial. Br J Nutr. 2015.no.8.pp.1263–1277. DOI:10.1017/S0007114515002950
- 11 Xu Z., Mei J., Tan Y. Baicalin attenuates DDP (cisplatin) resistance in lung cancer by downregulating MARK2 and p-Akt. Int J Oncol. 2017.no.1.pp.93–100. DOI:10.3892/ijo.2016.3768
- 12 Yin Z. et al. Baicalin attenuates XRCC1-mediated DNA repair to enhance the sensitivity of lung cancer cells to cisplatin. J Recept Signal Transduct Res. 2022.no.3.pp.215–224. DOI:10.1080/10799893.2021.1892132
- 13 Liu D., He B., Lin L., Malhotra A., Yuan N. Potential of curcumin and resveratrol as biochemical and biophysical modulators during lung cancer in rats. Drug Chem Toxicol. 2019. no.3.pp.:328–334. DOI:10.1080/01480545.2018.1523921

- 14 Wang J.Y. et al. Curcumin inhibits the growth via Wnt/ $\beta$ -catenin pathway in non-small-cell lung cancer cells. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2018, no.21.pp.7492–7499. DOI:10.26355/eurrev\_201811\_16290
- 15 Li W., Li C., Ma L., Jin F. Resveratrol inhibits viability and induces apoptosis in the small-cell lung cancer H446 cell line via the PI3K/Akt/c-Myc pathway. *Oncol Rep.*, 2020. DOI:10.3892/or.2020.7747
- 16 Chen P. et al. Curcumin overcome primary gefitinib resistance in non-small-cell lung cancer cells through inducing autophagy-related cell death. *J Exp Clin Cancer Res*. 2019; 38(1):254. doi:10.1186/s13046-019-1234-8
- 17 Li X., Ma S., Yang P., et al. Anticancer effects of curcumin on nude mice bearing lung cancer A549 cell subsets SP and NSP cells. *Oncol Lett*. Published online September 24, 2018. DOI:10.3892/ol.2018.9488
- 18 Zhang P., Zhang X. Stimulatory effects of curcumin and quercetin on posttranslational modifications of p53 during lung carcinogenesis. *Hum Exp Toxicol*. 2018.no.6.pp.618–625. DOI; 10.1177/0960327117714037
- 19 Liu Y., Wu Y.M., Zhang P.Y. Protective effects of curcumin and quercetin during benzo(a)pyrene induced lung carcinogenesis in mice. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2015.no.9.pp.1736–1743
- 20 Lam T.K., Shao S., Zhao Y., et al. Influence of quercetin-rich food intake on microRNA expression in lung cancer tissues. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2012.no.12.pp.2176–2184. DOI:10.1158/1055-9965.EPI-12-0745
- 21 Yang P., Li X., Wen Q., Zhao X. Quercetin attenuates the proliferation of arsenic-related lung cancer cells via a caspase-dependent DNA damage signaling. *Mol Carcinog*. 2022.no.7.pp.655–663. DOI:10.1002/mc.23408
- 22 Sui X et al. Baicalin Induces Apoptosis and Suppresses the Cell Cycle Progression of Lung Cancer Cells Through Downregulating Akt/mTOR Signaling Pathway. *Front Mol Biosci*. 2021; 7:602282. DOI:10.3389/fmolb.2020.602282
- 23 Rasheduzzaman M., Jeong J.K., Park S.Y. Resveratrol sensitizes lung cancer cell to TRAIL by p53 independent and suppression of Akt/NF- $\kappa$ B signaling. *Life Sciences*. 2018.no.208.pp.208–220. DOI:10.1016/j.lfs.2018.07.035
- 24 Jangid A.K. et al. Baicalin encapsulating lipid-surfactant conjugate based nanomicelles: Preparation, characterization and anticancer activity. *Chemistry and Physics of Lipids*. 2020.pp.104978. DOI:10.1016/j.chemphyslip.2020.104978
- 25 Annaji M., Poudel I., Boddu S.H.S, Arnold R.D, Tiwari A.K, Babu R.J. Resveratrol loaded nanomedicines for cancer applications. *Cancer Reports*. 2021.no.3.pp.1–21. DOI:10.1002/cnr2.1353
- 26 Monteillier A., Voisin A., Furrer P., Allémann E., Cuendet M. Intranasal administration of resveratrol successfully prevents lung cancer in A/J mice. *Sci Rep*. 2018.no.1.pp.14257. DOI:10.1038/s41598-018-32423-0
2727. Wu Q., Ou H., Shang Y., Zhang X., Wu J., Fan F. Nanoscale Formulations: Incorporating Curcumin into Combination Strategies for the Treatment of Lung Cancer. *Drug Des Devel Ther*. 2021.pp.2695–2709. DOI:10.2147/DDDT.S311107
- 28 Zhou X., Liu H.Y., Zhao H., Wang T. RGD-modified nanoliposomes containing quercetin for lung cancer targeted treatment. *Onco Targets Ther*. 2018.pp.5397–5405. DOI:10.2147/OTT.S169555
- 29 Mo F., Xiao Y., Zeng H., et al. Curcumin-Induced Global Profiling of Transcriptomes in Small Cell Lung Cancer Cells. *Front Cell Dev Biol*. 2021.no.588.pp.299. DOI:10.3389/fcell.2020.588299
- 30 Chen J., Yuan C.B., Yang B., Zhou X. Baicalin Inhibits EMT through PDK1/AKT Signaling in Human Nonsmall Cell Lung Cancer. *J Oncol*. 2021.pp.4391581. DOI:10.1155/2021/4391581
- 31 Cao H.J., Zhou W., Xian X.L., et al. A Mixture of Baicalein, Wogonin, and Oroxylin-A Inhibits EMT in the A549 Cell Line via the PI3K/AKT-TWIST1-Glycolysis Pathway. *Front Pharmacol*. 2021.pp.821485. DOI:10.3389/fphar.2021.821485
- 32 Sanaei M.J., Razi S., Pourbagheri-Sigaroodi A., Bashash D. The PI3K/Akt/mTOR pathway in lung cancer; oncogenic alterations, therapeutic opportunities, challenges, and a glance at the application of nanoparticles. *Transl Oncol*. 2022.pp.101364. DOI: 10.1016/j.tranon.2022.101364
- 33 Wu G.Q., Chai K.Q., Zhu X.M, et al. Anti-cancer effects of curcumin on lung cancer through the inhibition of EZH2 and NOTCH1. *Oncotarget*. 2016.no.18.pp.26535–26550. DOI:10.18632/oncotarget.8532
- 34 Cenciarelli C., Marei H.E., Zonfrillo M, et al. The interference of Notch1 target Hes1 affects cell growth, differentiation and invasiveness of glioblastoma stem cells through modulation of multiple oncogenic targets. *Oncotarget*. 2017.no.11.pp.17873–17886. DOI:10.18632/oncotarget.15013
- 35 Mittal S., Sharma A., Balaji S.A., et al. Coordinate Hyperactivation of Notch1 and Ras/MAPK Pathways Correlates with Poor Patient Survival: Novel Therapeutic Strategy for Aggressive Breast Cancers. *Molecular Cancer Therapeutics*. 2014.no12.pp.3198–3209. DOI:10.1158/1535-7163.MCT-14-0280
- 36 Chang J.H., Lai S.L., Chen W.S., et al. Quercetin suppresses the metastatic ability of lung cancer through inhibiting Snail-dependent Akt activation and Snail-independent ADAM9 expression pathways. *Biochim Biophys Acta Mol Cell Res*. 2017.no.10.pp. 1746–1758. DOI:10.1016/j.bbamcr.2017.06.017
- 37 Yang X., Han M., Han H. et al. Silencing Snail suppresses tumor cell proliferation and invasion by reversing epithelial-to-mesenchymal transition and arresting G2/M phase in non-small cell lung cancer. *International Journal of Oncology*. 2017.no.4.pp.1251–1260. DOI:10.3892/ijo.2017.3888
- 38 Sher Y.P, Liu J.P, Lo C.C, Kuo T.T, Liu S.J. ADAM9 as a target for lung cancer treatment. *Annals of Oncology*. 2019.no.78. DOI:10.1093/annonc/mdz268.087




#### Сведения об авторах


**Владислав Ю. Буслаев** ведущий инженер-технолог, лаборатория цитогенетики, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии, пр-т Советский, 18, г. Кемерово, 650000, Россия, vladislasbus2358@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5566-5323>

**Варвара И. Минина** д.б.н., профессор, кафедра генетики и фундаментальной медицины, Кемеровский государственный университет, улица Красная 6, г. Кемерово, 650000, Россия, vminina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3485-9123>


**Анастасия В. Торгунакова** ведущий инженер-технолог, кафедра генетики и фундаментальной медицины, Кемеровский государственный университет, улица Красная 6, г. Кемерово, 650000, Россия, a.vryzhkova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5643-5001>


**Ольга А. Соболева** ведущий инженер-технолог, лаборатория цитогенетики, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии, пр-т. Советский 18, г. Кемерово, 650000, Россия, soboleva.olga88@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7183-6647>

**Анна В. Марущак** инженер-технолог 1-ой категории, лаборатория цитогенетики, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии, пр-т. Советский 18, г. Кемерово, 650000, Россия, krestiannikova997@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9560-7563>

**Анастасия А. Яковлева** инженер-технолог первой категории, кафедра генетики и фундаментальной медицины, Кемеровский государственный университет, Улица Красная 6, г. Кемерово, 650000, Россия, asya-kemerovo2012@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6987-8247>

#### 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


**Vladislav Yu. Buslaev** engineer-technologist, laboratory of cytogenetics, Federal research centre of coal and coalchemistry, Sovetskiy avenue, 18, Kemerovo, 650000, Russia, vladislasbus2358@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5566-5323>


**Varvara I. Minina** Dr. Sci. (Biol.), professor, department of genetics and fundamental medicine, Kemerovo state university, Krasnaya street 6, Kemerovo, 650000, Russia, vminina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3485-9123>


**Anastasia V. Torgunakova** engineer-technologist, department of genetics and fundamental medicine, Kemerovo state university, Krasnaya street 6, Kemerovo, 650000, Russia, a.vryzhkova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5643-5001>


**Olga A. Soboleva** engineer-technologist, laboratory of cytogenetics, Federal research centre of coal and coalchemistry, Sovetskiy avenue, 18, Kemerovo, 650000, Russia, soboleva.olga88@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7183-6647>

**Anna V. Marushchak** engineer-technologist, laboratory of cytogenetics, Federal research centre of coal and coal chemistry, Sovetskiy avenue, 18, Kemerovo, 650000, Russia, krestiannikova997@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9560-7563>

**Anastasia V. Yakovleva** engineer-technologist, department of genetics and fundamental medicine, Kemerovo state university, Krasnaya street 6, Kemerovo, 650000, Russia, asya-kemerovo2012@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6987-8247>

#### 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> 24/10/2022	<b>После редакции</b> 12/11/2022	<b>Принята в печать</b> 22/11/2022
<b>Received</b> 24/10/2022	<b>Accepted in revised</b> 12/11/2022	<b>Accepted</b> 22/11/2022

## Влияние порошка стевии на качество безглютенового печенья

Людмила П. Нилова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:nilova_l_p@mail.ru">nilova_l_p@mail.ru</a>	 0000-0002-5154-7095
Светлана М. Малютенкова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:smal2011@mail.ru">smal2011@mail.ru</a>	 0000-0002-8081-6688
Людмила Н. Шмакова	<sup>2</sup>	<a href="mailto:zontik-34@yandex.ru">zontik-34@yandex.ru</a>	 0000-0003-2998-1909




<sup>1</sup> СПбПУ, ул., Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия

<sup>2</sup> Кировский ГМУ Минздрава России, ул. К. Маркса, 112, г. Киров, 610027, Россия

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследований влияния порошка стевии на качество безглютенового печенья из песочного теста при полной замене сахара в рецептуре. Печенье было изготовлено из смеси муки рисовой и кукурузной (40/60). В качестве жировых компонентов использовали маргарин или растительное масло. Порошок стевии использовали в разных количествах: 1,0; 2,0; 3,0%. Оценку качества печенья проводили по органолептическим показателям, физическим характеристикам (диаметр, толщина), массовой доли влаги, намокаемости, прочности на анализаторе структуры «Структурометр СТ-2». При полной замене сахара на порошок стевии в различных количествах печенье с маргарином было сопоставимо по размерам с печеньем с сахаром, увеличив при этом влажность, но снизив значения намокаемости и прочности. Замена жирового компонента на растительное масло привело к формированию более плоского расплывчатого печенья, с выраженной хрупкостью, что отражалось на его прочности, как в печенье с сахаром, так и со стевией. Использование гуаровой или ксантановой камеди в рецептуре безглютенового печенья со стевией и растительным маслом позволило получить более мягкое печенье, увеличило его толщину, а также влажность и набухаемость, стабилизировало прочность, которая стала сравнима до добавления порошка стевии. Увеличение количества камеди более 1% приводило к большим изменениям показателей качества печенья, и зависело от вида камеди, что было более выражено при использовании ксантановой камеди. Основным критерием качества безглютенового печенья с порошком стевии в количестве 1,0% стало минимальная специфическая сладость.

**Ключевые слова:** безглютеновое печенье, стевия, маргарин, подсолнечное масло, камеди, качество.

## The effect of stevia powder on the quality of gluten-free cookies

Liudmila P. Nilova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:nilova_l_p@mail.ru">nilova_l_p@mail.ru</a>	 0000-0002-5154-7095
Svetlana M. Malyutenkova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:smal2011@mail.ru">smal2011@mail.ru</a>	 0000-0002-8081-6688
Liudmila N. Shmakova	<sup>2</sup>	<a href="mailto:zontik-34@yandex.ru">zontik-34@yandex.ru</a>	 0000-0003-2998-1909

<sup>1</sup> Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Saint-Petersburg, 195251, Russia

<sup>2</sup> FSBEI HE Kirov SMU MOH Russia, st. K. Marx, 112, Kirov, 610027, Russia

**Abstract.** The paper presents the results of studies of the effect of stevia powder on the quality of gluten-free cookies with a complete replacement of sugar in the recipe. The cookies were made from a mixture of rice and corn flour (40/60). Margarine or vegetable oil were used as fat components. Stevia powder was used in different amounts: 1.0; 2.0; 3.0%. Cookies quality were assessed by organoleptic indicators, physical characteristics (diameter, thickness), moisture, swelling, strength on the structure analyzer "Structurometer ST-2". When completely replacing sugar with stevia powder in various amounts, margarine cookies were comparable in size to sugar cookies, while increasing moisture, but reducing swelling and strength values. Replacing the fat component with vegetable oil resulted in the formation of a flatter, more brittle cookie, with pronounced brittleness, which was reflected in its strength, both in cookies with sugar and with stevia. The use of guar or xanthan gum in the formulation of gluten-free cookies with stevia and vegetable oil made it possible to obtain softer cookies, increased their thickness, as well as moisture and swelling, stabilized the strength, which became comparable before the addition of stevia powder. An increase in the amount of gum over 1% led to large changes in cookie quality indicators, and depended on the type of gum, which was more pronounced when using xanthan gum. The main criterion for the quality of gluten-free cookies with stevia powder in the amount of 1.0% was the minimum specific sweetness.

**Keywords:** gluten-free cookies, stevia, margarine, sunflower oil, gums, quality.

### Введение

На российском потребительском рынке печенье считается одним из популярных пищевых продуктов в сегменте мучных кондитерских изделий. Потребитель рассматривает печенье как лакомство благодаря его органолептическим свойствам, которые формируются за счет высокого содержания сахара и жира.

Согласно ГОСТ 24901–2014 «Печенье. Общие технические условия» содержание в печенье сахара может достигать до 45%, а жира до 40%. Безглютеновое печенье не является исключением, которое принципиально отличается от печенья традиционной рецептуры использованием безглютеновой муки из злаковых культур (риса, кукурузы, овса, проса) [1–6].

Для цитирования

Нилова Л.П., Малютенкова С.М., Шмакова Л.Н. Влияние порошка стевии на качество безглютенового печенья // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 124–132. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-124-132

For citation

Nilova L.P., Malyutenkova S.M., Shmakova L.N. The effect of stevia powder on the quality of gluten-free cookies. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 124–132. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-124-132

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

Рисовая мука – одна из наиболее часто используемых видов безглютеновой муки, которую могут сочетать с другими видами муки (кукурузной, гречневой, овсяной и др.). В последние годы исследования в совершенствовании рецептур безглютеновой продукции направлены на повышение их пищевой ценности. Для этого используют муку цельнозерновую, гречневую или льняную, муку из амаранта, киноа, каштана, кэроба (порошка из плодов рожкового дерева) и др. [2, 3, 7–10]. Для обогащения используют различное белокосодержащее растительное сырье (соя, нут, фасоль, люпин) [3, 11, 12], ферментированные отруби [13], ферментированный пробиотиками сублимированный порошок шампиньонов [15]. Нередко для формирования структуры безглютенового печенья необходимы стабилизаторы структуры – карбоксиметилцеллюлоза [1], камеди [9, 11, 15], цитрусовые волокна [4] и др. Установлено, что в случае использования камедей акации, абрикоса, карайи, повышающих вязкость теста и формирующих органолептические свойства, готовая продукция одновременно приобретает антиоксидантные свойства [11].

Безглютеновое печенье становится «модным трендом» среди потребителей, которые считают, что оно более полезное, хотя в настоящее время отсутствуют исследования, подтверждающих этот факт [16, 17]. Более того, высокое содержание крахмала в безглютеновом печенье может вызвать всплеск уровня глюкозы в крови, увеличивая риск возникновения диабета II типа и ожирения, а для потребителей с чувствительностью к глютену требует поддержания гликемического контроля при строгой безглютеновой диете [1].

Есть разные пути снижения гликемического индекса печенья, как традиционного, так и безглютенового – регулирование технологических условий выпечки (температуры и времени), повышающего долю резистентного крахмала и/или регулирование рецептуры с частичной или полной заменой сахара на сахарозаменители (мальтит, инулин, олигофруктоза, мальтодекстрин) [1, 18–22]. При замене в рецептуре печенья 50% сахара мальтитом или 100% сахара инулином получают мягкое и менее хрупкое печенье [19]. Использование стевии в виде экстрактов позволяет не только полностью или частично заменить сахар в печенье различных рецептур [18, 20, 23, 24], но и благодаря своему богатому биохимическому составу оказывать благотворное влияние на здоровье, особенно при лечении диабета,

ожирения, гипертонии, онкологии и микробных инфекций [18, 25, 26]. Гликозид стевииол, обуславливающий сладость стевии в 100–300 раз слаще сахарозы, позволяет использовать стевию в рецептурах печенья, добиваясь избежать нежелательного послевкусия стевии [25]. С другой стороны, использование экстракта стевии снижает прочность печенья и повышает активность воды, поэтому некоторые исследователи [19] предлагают использовать стевию совместно с наполнителями. Например, стевия вместе с наполнителем «Benefiber» позволяет заменить 66% сахара в овсяном печенье без изменения его органолептических показателей. При этом в печенье увеличивается количество пищевых волокон на 289%. Улучшению качества печенья со стевией способствует совместное ее использование с топинамбуром, причем увеличение количества топинамбура позволяет снизить количество стевии до 0,7% [23].

В качестве жировых компонентов в печенье чаще всего используют маргарин, но существующая опасность содержания в них трансизомеров жирных кислот привела к необходимости использования растительных жиров [4, 27–29]. Жидкие растительные масла могут оказывать негативное влияние на физические характеристики печенья, поэтому предлагается использовать их в сочетании со стабилизаторами, в роли которых могут выступать цитрусовые волокна [4]. Разработаны [30] специальные комбинированные гели, состоящие из смеси масла канолы / канделильского олеогеля (5 г/100 г.) и гидрогеля клейстеризованного кукурузного крахмала (5 г/100 г.) в соотношении 1:1. Перспективным жировым компонентом считают красный пальмовый олеин, полученный из масла плодов гибридной пальмы *Elaeis oleifera* x *Elaeis*. Гвинейской с повышенным содержанием каротинов и токотриенолов, обеспечивающих антиоксидантные свойства печенья, сохранность которых при выпечке составляет 92–100% [31].

**Цель работы** – изучить влияние порошка стевии на качество безглютенового печенья при полной замене сахара в рецептуре в зависимости от использования различных жировых компонентов.

### Материалы и методы

Для исследований была выбрана рецептура безглютенового печенья из песочного теста, изготовленного с использованием рисовой и кукурузной муки (40/60), сахара, маргарина, яйца куриного, соли пищевой и разрыхлителя, которая явилась контролем.

Второй вариант рецептуры отличался использованием масла подсолнечного рафинированного дезодорированного в качестве жирового компонента вместо маргарина. Опытные образцы безглютенового печенья вырабатывались по той же рецептуре, но вместо сахара использовали порошок стевии в различных количествах: 1,0; 2,0; 3,0%. Минимальный уровень стевии был определен из расчета: сладость 1 г стевии соответствует 20 г. сахарозы [26]. Для стабилизации структуры и консистенции безглютенового печенья с подсолнечным маслом и порошком стевии использовали гуаровую и ксантановую камеди в количествах 1,0; 2,0; 3,0% от количества жирового компонента.

Для приготовления теста жировой компонент смешивали с сахаром или порошком стевии, куриным яйцом, солью и разрыхлителем, перемешивали с помощью лабораторного миксера в течение 20 мин. Затем добавляли муку и продолжали замес до получения однородной массы. Формовку печенья осуществляли после раскатывания теста в виде листа. Выпечку печенья осуществляли при температуре 180°C в течение 20–22 минут.

Оценку качества контрольных и опытных образцов печенья каждой выпечки проводили в трехкратной повторности по органолептическим показателям, физическим характеристикам (диаметр, толщина), массовой доли влаги, намокаемости, прочности.

Размеры печенья измеряли штангенциркулем. Диаметр каждого печенья измеряли дважды перпендикулярно для получения среднего диаметра. Массовую долю влаги определяли по ГОСТ 5900–2014, намокаемость – по ГОСТ 10114–80. Измерение прочности – на анализаторе структуры «Структурометр СТ-2».

### Результаты и обсуждение

На первом этапе подбирали количество порошка стевии в рецептуре безглютенового печенья с маргарином (30%) при полном отсутствии сахара. Контролем служило безглютеновое печенье с сахаром (20%).

Преобладание кукурузной муки в составе безглютеновой муки придавало печенью желтый цвет, но не отражалось на вкусе и запахе, который был сладковатый, характерный для печенья. Поверхность печенья была гладкой без трещин и вздутий, форма – круглая, плоская. При использовании порошка стевии вместо сахара форма и состояние поверхности не изменились, но печенье стало тоньше на 1 мм и имело тенденцию к увеличению диаметра, хотя изменения не были статистически значимы (таблица 1). Уменьшение толщины безглютенового печенья происходит также при 100%-ной замене сахара инулином [19].

Таблица 1.

Влияние порошка стевии на показатели качества безглютенового печенья с маргарином

Table 1.

Effect of stevia powder on the quality indicators of gluten-free margarine cookies

Количество стевии, % The amount of stevia, %	Показатели   Indicators				
	толщина, мм thickness, mm	диаметр, мм diameter, mm	влажность, % moisture, %	намокаемость, % swelling, %	прочность, г strength, g
Контроль   Control	5,0 ± 0,2	62,0 ± 2,0	4,60 ± 0,16	151,60 ± 2,20	1595,9 ± 38,2
1	4,0 ± 0,3	62,6 ± 2,7	5,26 ± 0,10	144,06 ± 1,45	741,5 ± 35,1
2	4,0 ± 0,4	63,2 ± 2,3	5,49 ± 0,10	142,87 ± 2,10	716,3 ± 32,2
3	4,0 ± 0,2	63,5 ± 2,9	5,77 ± 0,15	141,98 ± 2,00	682,0 ± 32,0

Вкус печенья имел характерную специфическую сладость стевии, которая была слабовыраженной при использовании порошка стевии в количестве 1,0% и усиливалась с увеличением его количества, достигая легкого горьковатого привкуса при 3,0%. При этом отсутствовало влияние порошка стевии на запах печенья.

Более значительно порошок стевии повлиял на влажность печенья, повысив ее в 1,14–1,25 раз по сравнению с контролем. О влиянии стевии на повышение активности воды в овсяном печенье указывают Salazar с соавторами [18], отмечая при этом снижение прочности печенья в 3 раза. Исследуемые опытные образцы

безглютенового печенья со стевией снизили прочность более чем в 2 раза. При этом намокаемость печенья со стевией снизилась на 5,2–6,8%.

Замена жирового компонента на подсолнечное масло в том же количестве, что и маргарин (30%) для получения теста для печенья не дала положительных результатов. Тесто крошилось, и добиться его однородности было невозможно. Основываясь на литературных данных [4] количество подсолнечного масла было уменьшено до 20%, что позволило получить однородное тесто для безглютенового печенья с сахаром. В отличие от образцов печенья с маргарином (контроль) печенье с растительным маслом

было тоньше, но практически такого же диаметра (таблица 2). Растительное масло, имея жидкую консистенцию, легче проникало в структуру муки и за счет высокой жиродерживающей и эмульгирующей способности преобладающей в ее составе кукурузной муки [32], препятствовало испарению воды при выпечке. В результате влажность контрольных образцов печенья с растительным маслом была выше, чем в контроле с маргарином на 1,2%. Похожие результаты были получены Perez-Santana M.

с соавторами [31]. При выпечке печенья с высокоолеиновым олеином из масла красной пальмы его влажность была больше на 1–2% по сравнению с печеньем с традиционным олеином. Несмотря на использование меньшего количества растительного масла на 10% по сравнению с количеством маргарина в исследуемых образцах печенья, их намокаемость в воде увеличилась на 4,8%. При этом печенье стало более хрупкое, уменьшив значения прочности в 1,5 раза

Таблица 2.

Влияние порошка стевии на показатели качества безглютенового печенья с подсолнечным маслом

Table 2.

The effect of stevia powder on the quality indicators of gluten-free cookies with sunflower oil

Количество стевии, % The amount of stevia, %	Показатели   Indicators				
	толщина, мм thickness, mm	диаметр, мм diameter, mm	влажность, % moisture, %	намокаемость, % swelling, %	прочность, г strength, g
Контроль   Control	4,0 ± 0,2	61,0 ± 1,2	5,80 ± 0,22	156,40 ± 1,62	1032,8 ± 26,4
1	3,8 ± 0,1	63,0 ± 1,5	5,09 ± 0,18	152,24 ± 1,30	572,4 ± 21,2
2	3,6 ± 0,1	64,3 ± 1,8	5,10 ± 0,19	151,00 ± 1,40	–
3	3,5 ± 0,2	65,0 ± 1,8	5,59 ± 0,20	149,88 ± 1,41	–

При использовании порошка стевии вместо сахара в печенье с подсолнечным маслом оно становилось тоньше и шире. Увеличение его диаметра составило 2–4 мм, а влажность снижалась на 4,4–13,9%, что принципиально отличало его от аналогичного печенья со стевией и маргарином. Динамика намокаемости печенья в воде была аналогичной, но уменьшение значений в зависимости от количества стевии в рецептуре были не такими выраженными. Так, в печенье с маргарином порошок стевии снизил значения намокаемости на 5,2–6,8%, а с растительным маслом – на 2,7–4,3%.

Наибольшее влияние порошок стевии оказал на прочность печенья, уменьшив ее почти в 2,2 раза при количестве порошка 1,0% (таблица 2). При большем количестве порошка стевии в рецептуре песочного печенья с растительным маслом оно становилось настолько хрупким, что буквально крошилось в руках, поэтому его прочность измерить было невозможно. Динамику снижения прочности печенья с одновременным повышением его хрупкости под влиянием сахарозаменителей – мальтита и инулина в разных соотношениях было установлено Стрелковой А.К. с соавторами [19].

Улучшить качество безглютенового печенья возможно за счет использования структурообразователей, в качестве которых используют различные камеди [9, 11, 15, 33] или другие ингредиенты с высокой водопоглощательной способностью – цельнозерновую муку,

цитрусовые волокна, карбоксиметилцеллюлоза [1, 2, 19]. В зависимости от вида структурообразователя и их количества качество печенья значительно различается. Например, камеди акации, трагаканта, гуаровой и ксантановой в количестве 1,0% повышают влажность печенья из гречневой муки, которое характеризуется большей толщиной, массой и сниженной прочностью [9]. Экструзионная кукурузная мука из цельного зерна за счет ее более высокой водопоглощательной способности приводит к увеличению диаметра и толщины печенья, коэффициент расплываемости (отношение среднего диаметра к толщине) увеличивается на 18%, снижается прочность печенья в 1,6 раза по сравнению с традиционной кукурузной мукой [2]. Особенно это актуально при использовании в рецептуре печенья жидких растительных масел. Так, при использовании жидкого растительного масла в смеси с клейстеризованным крахмалом улучшается дисперсия жировой фракции, что препятствует растеканию теста при формовании и позволяет получать более компактное, но нежное печенье с меньшей твердостью [30]. Использование 1% цитрусовых волокон сохраняет формоустойчивость теста и печенья из гречневой муки с жидким растительным маслом [19].

Для повышения качества безглютенового печенья с порошком стевии и подсолнечным маслом использовали гуаровую и ксантановую камеди в разных количествах (таблица 3). В основном камеди в составе печенья используют

в количестве 0,5–1,0%, но возможно ее использование в более высоких концентрациях [9, 11, 28, 34]. Mudgil D. [33] установили, что наиболее лучшее качество печенья сформировалось при

использовании частично гидролизованной гуаровой камеди в количестве 2,21%. Добавление камедей в жидкое растительное масло формирует гели, препятствующие растекаемости теста [28].

Таблица 3.  
Влияние гуаровой и ксантановой камедей на качество безглютенового печенья с порошком стевии 1,0% и подсолнечным маслом

Table 3.  
The effect of guar and xanthan gums on the quality of gluten-free cookies with stevia powder 1,0% and sunflower oil

Вид камеди Type of gum	Количество камеди, % Amount of gum, %	Показатели   Indicators				
		толщина, мм thickness, mm	диаметр, мм diameter, mm	влажность, % moisture, %	намокаемость, % swelling, %	прочность, г strength, g
Гуаровая камедь Guar gum	1,0	6,0 ± 0,2	63,5 ± 0,2	7,19 ± 0,30	177,30 ± 1,80	1210,9 ± 28,5
	2,0	6,8 ± 0,2	64,4 ± 0,3	7,31 ± 0,25	178,70 ± 0,95	1153,6 ± 33,4
	3,0	7,3 ± 0,1	65,2 ± 0,3	7,53 ± 0,20	180,01 ± 1,30	1073,1 ± 30,2
Ксантановая камедь Xanthan gum	1,0	6,9 ± 0,3	64,0 ± 0,1	7,42 ± 0,28	181,23 ± 0,80	1169,5 ± 20,4
	2,0	7,8 ± 0,5	64,9 ± 0,2	7,64 ± 0,15	182,04 ± 1,75	1078,8 ± 25,0
	3,0	8,2 ± 0,2	65,8 ± 0,2	7,97 ± 0,12	182,80 ± 1,14	1005,2 ± 19,5

Результаты исследований показали, что добавление гуаровой или ксантановой камедей в количестве от 1 до 3% в печенье со стевией и подсолнечным маслом приводило к увеличению их толщины. Причем ксантановая камедь показала более существенное влияние на толщину печенья с порошком стевии, увеличив ее от 1,8 до 2,1 раза, тогда как гуаровая камедь – от 1,6 до 1,9 раз. Это связывают с большей молекулярной массой ксантановой камеди, чем гуаровой камеди, и было показано в исследованиях безглютенового печенья из гречневой муки с добавлением камедей разной молекулярной массы [9]. Камеди формируют рыхлую и мягкую микроструктуру печенья за счет его развитой пористости, что доказано исследованиями с помощью электронной сканирующей микроскопии [11, 34]. Это оказывает влияние в некоторой степени на диаметр печенья, хотя в опытных образцах его диаметр вырос незначительно – максимально на 2,8 мм. В большей степени использование камедей сказывается на прочности печенья. Добавление камедей в количестве 1% приводит к резкому увеличению прочности печенья (таблица 3), которая становится сравнима с прочностью печенья до добавления порошка стевии (таблица 2). Но увеличение количества камеди более 1,0% в рецептуре печенья, как гуаровой, так и ксантановой, начинает снижать значения прочности. При увеличении количества гуаровой камеди от 1 до 3% значения прочности печенья снизились на 12,8%, а ксантановой – на 16,3%. Кроме того, камеди повышают влажность и намокаемость безглютенового печенья, значения

которых имеют незначительную тенденцию к возрастанию с увеличением количества камеди более 1,0%.

### Закключение

Для разработки безглютенового печенья без сахара из песочного теста из смеси муки рисовой и кукурузной (40/60) использовали порошок стевии в различных количествах: 1,0; 2,0; 3,0%. Качество разрабатываемого печенья зависело от вида жирового компонента (маргарин или растительное масло) и количества порошка стевии.

Добавление порошка стевии в безглютеновое печенье с маргарином практически не оказало влияния на размеры печенья, но увеличило его влажность, снижая при этом значения намокаемости и прочности. Увеличение количества стевии более 1% в рецептуре печенья придавало ему более выраженную специфическую сладость стевии вплоть до горечи, и большее влияние на динамику физико-химических показателей качества.

Добавление порошка стевии в безглютеновое печенье с растительным маслом привело к необходимости уменьшения количества жирового компонента, формированию печенья расплывчатой формы и очень хрупкой текстуры, снижая его влажность, намокаемость и прочность. Для повышения его качества можно использовать гуаровую и ксантановую камеди, которые позволяют получить более мягкое печенье, большей толщины, влажности и намокаемости, стабилизировать прочность,



которая становится сравнима с печеньем с сахаром. Увеличение количества камеди более 1% приводит к большим изменениям показателей качества печенья, и зависит от вида камеди, что более выражено при использовании ксантановой камеди.

Вкус и запах безглютенового печенья не зависел от жирового компонента, а формировался в зависимости от количества порошка стевии. Основным критерием качества безглютенового печенья с порошком стевии в количестве 1,0% стало минимальная специфическая сладость.

### Литература

- 1 Naseer B., Naik H.R., Hussain S.Z., Zargar I., Beenish, Bhat T.A., Nazir N. Effect of carboxymethyl cellulose and baking conditions on in-vitro starch digestibility and physico-textural characteristics of low glycemic index gluten-free rice cookies // *LWT – Food Science and Technology*. 2021. № 141. 110885. doi:10.1016/j.lwt.2021.110885
- 2 Paesani C., Bravo-Núñez Á., Gómez M. Effect of extrusion of whole-grain maize flour on the characteristics of gluten-free cookies // *LWT – Food Science and Technology*. 2020. № 132. 109931. doi:10.1016/j.lwt.2020.109931
- 3 Xu J., Zhang Y., Wang W., Li Y. Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. № 103. P. 200–213. doi:10.1016/j.tifs.2020.07.017
- 4 Рензяева Т.В., Багирова М.Е. Печенье из рисовой муки для специализированного питания // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2017. № 1. С. 49–55.
- 5 Болдина А.А. и др. Разработка рецептуры и технологии производства безглютенового печенья с использованием рисовой муки // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2015. № 1. С. 220–225.
- 6 Sharma S., Saxena D.C., Riar Ch. S. Nutritional, sensory and in-vitro antioxidant characteristics of gluten free cookies prepared from flour blends of minor millets // *Journal of Cereal Science*. 2016. № 72. P. 153–161. doi:10.1016/j.jcs.2016.10.012
- 7 Жаркова И.М. и др. Оптимизация безглютеновой диеты новыми продуктами // *Вопросы детской диетологии*. 2017. № 15(6). С. 59–65. DOI: 10.20953/1727–5784–2017–6–59–65.
- 8 Козубаева Л.А., Кузьмина С.С., Вишняк М.М. Безглютеновое печенье из смеси рисовой и гречневой муки // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2010. № 7 (69). С. 62–65.
- 9 Kaur M., Sandhu K.S., Arora A.P., Sharma A. Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: Physicochemical and sensory properties // *LWT-Food Science and Technology*. 2015. № 62 (1). P. 628–632. doi:10.1016/j.lwt.2014.02.039
- 10 Demirkesen I. Formulation of chestnut cookies and their rheological and quality characteristics // *Journal of Food Quality*. 2016. № 39(4). P. 264–273. doi: 10.1111/jfq.12209
- 11 Hamdani A.M., Wani I.A., Bhat N.A. Gluten free cookies from rice-chickpea composite flour using exudate gums from acacia, apricot and karaya // *Food Bioscience*. 2020. № 35. 100541. doi:10.1016/j.fbio.2020.100541
- 12 Li Y., Sun Y., Zhong M., Xie F., Wang H., Li L. Digestibility, textural and sensory characteristics of cookies made from residues of enzyme-assisted aqueous extraction of soybeans // *Scientific Reports*. 2020. № 10(1). P. 1–8. doi:10.1038/s41598–020–61179–9
- 13 Christ-Ribeiro A., Chiattoni L.M., Mafaldo C.R.F., Badiale-Furlong E., de Souza-Soares L.A. Fermented rice-bran by *Saccharomyces cerevisiae*: Nutritious ingredient in the formulation of gluten-free cookies // *Food Bioscience*. 2021. № 40. 100859. doi:10.1016/j.fbio.2020.100859
- 14 Schmelter L., Rohm H., Struck S. Erratum to Gluten-free bakery products: Cookies made from different *Vicia faba* bean varieties // *Future Foods*. 2022. № 6. 100163. doi:10.1016/j.fufo.2022.100163
- 15 Sulieman A.A., Zhu K-X., Peng W., Hassan H.A., Mahdi A.A., Zhou H. – M. Influence of fermented and unfermented *Agaricus bisporus* polysaccharide flours on the antioxidant and structural properties of composite gluten-free cookies // *LWT – Food Science and Technology*. 2019. № 101. P. 835–846. doi:10.1016/j.lwt.2018.11.007
- 16 Jones A.L. The Gluten-Free Diet: Fad or Necessity? // *Diabetes Spectrum*. 2017. V. 30. № 2. P. 118–123. doi:10.2337/ds16–0022
- 17 Schmucker C. et al. Effects of a gluten-reduced or gluten-free diet for the primary prevention of cardiovascular disease. Review // *Cochrane Database Syst Rev*. 2022. № 2(2). CD013556. doi:10.1002/14651858.CD013556.pub2
- 18 Salazar V.A.G., Encalada S.V., Cruz A.C., Campos M.R.S. Stevia rebaudiana: A sweetener and potential bioactive ingredient in the development of functional cookies // *Journal of Functional Foods*. 2018. № 44. P. 183–190. doi:10.1016/j.jff.2018.03.007
- 19 Стрелкова А.К., Красина И.Б., Филиппова Е.В., Лысенко А.В. Влияние сахарозаменителей и пищевых волокон на текстурные свойства безглютенового теста и печенья // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2021. № 2–3. С. 45–49. doi:10.26297/0579-3009.2021.2-3.11
- 20 Bukolt K., Ramirez N., Saenz A., Mirza K., Bhaduri S., Navder K. To measure the effectiveness of a stevia and Benefiber combination as a sugar replacer in oatmeal raisin cookies // *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2018. V. 118. № 9. A 55. doi:10.1016/J.JAND.2018.06.214
- 21 Olawoye B., Gbadamosi S.O., Otemuyiwa I.O., Akanbi Ch. T. Gluten-free cookies with low glycemic index and glycemic load: optimization of the process variables via response surface methodology and artificial neural network // *Heliyon*. 2020. № 6. e05117. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e05117
- 22 Rakmai Ja., Haruthaithanasan V., Chompreeda P., Chatakanonda P., Yonkoksung U. Development of gluten-free and low glycemic index rice pancake: Impact of dietary fiber and low-calorie sweeteners on texture profile, sensory properties, and glycemic index // *Food Hydrocolloids for Health*. 2021. № 1. 100034. doi:10.1016/j.fhfh.2021.100034

- 23 Мезенова О.Я., Казакова О.Н. Моделирование рецептуры диабетического печенья с добавлением стевии и топинамбура // Вестник Международной академии холода. 2010. № 4. С. 23–26.
- 24 Luo X., Arcot J., Gill T., Louie J.C.Y., Rangan A. (). A review of food reformulation of baked products to reduce added sugar intake // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. № 86. P. 412–425. doi:10.1016/j.tifs.2019.02.051
- 25 Ahmad J. et al. Stevia rebaudiana Bertoni.: an updated review of its health benefits, industrial applications and safety // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. № 100. P. 177–189. doi:10.1016/j.tifs.2020.04.030
- 26 Ahmad U., Ahmad R. Sh. Nutritional, Physicochemical and Organoleptic Evaluation of Low Calorie Muffins Using Natural Sweetener Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) // *Journal of Nutrition & Food Sciences*. 2018. V. 8. № 2. 1000673. doi:10.4172/2155-9600.1000673
- 27 Нилова Л.П. Выготовов А.А., Малютенкова С.М., Лабойко И.Ю. Проблемы безопасности хлебобулочных изделий: трансизомеры жирных кислот // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2017. Т. 5. № 2. С. 78–86. doi:10.14529/food170210
- 28 Gharai Z. et al. Gum tragacanth oil/gels as an alternative to shortening in cookies: Rheological, chemical and textural properties // *LWT – Food Science and Technology*. 2019. № 105. P. 265–271. doi: 10.1016/j.lwt.2019.02.025.
- 29 Nilova L. et al. An investigation into the effects of bioactive substances from vegetable oils on the antioxidant properties of bakery products // *Agronomy Research*. 2017. V.15. № S2. P.1399–1410. doi:10.15159/AR.18.055
- 30 Barragán-Martínez L.P., Román-Guerrero A., Vernon-Carter E.J., Alvarez-Ramirez J. Impact of fat replacement by a hybrid gel (canola oil/candelilla wax oleogel and gelatinized corn starch hydrogel) on dough viscoelasticity, color, texture, structure, and starch digestibility of sugar-snap cookies // *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2022. № 29. 100563. doi:10.1016/j.ijgfs.2022.100563
- 31 Perez-Santana M., Cagampang G.B., Gu L., MacIntosh I.A. S., Percival S.S., MacIntosh A.J. Characterization of physical properties and retention of bioactive compounds in cookies made with high oleic red palm olein // *LWT – Food Science and Technology*. 2021. № 147. P. 111499. doi:10.1016/j.lwt.2021.111499
- 32 Рензяева Т.В. и др. 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
- 33 Mudgil D., Barak Sh., Khatkar B.S. Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels // *LWT – Food Science and Technology*. 2017. № 80. P. 537–542. doi:10.1016/j.lwt.2017.03.009
- 34 Samakradhamrongthai R.S., Maneechot S., Wangpankhajorn P., Jannu T., Renaldi G. Polydextrose and guar gum as a fat substitute in rice cookies and its physical, textural, and sensory properties // *Food Chemistry Advances*. 2022. №. 100058. doi:10.1016/j.focha.2022.100058


## References

- 1 Naseer B., Naik H.R., Hussain S.Z., Zargar I., Beenish, Bhat T.A., Nazir N. Effect of carboxymethyl cellulose and baking conditions on in-vitro starch digestibility and physico-textural characteristics of low glycemic index gluten-free rice cookies. *LWT – Food Science and Technology*. 2021. no 141. 110885. doi:10.1016/j.lwt.2021.110885
- 2 Paesani C., Bravo-Núñez Á., Gómez M. Effect of extrusion of whole-grain maize flour on the characteristics of gluten-free cookies. *LWT – Food Science and Technology*. 2020. no 132. 109931. doi:10.1016/j.lwt.2020.109931
- 3 Xu J., Zhang Y., Wang W., Li Y. Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. no 103. pp. 200–213. doi:10.1016/j.tifs.2020.07.017
- 4 Renzyaeva T.V., Bakirova M.E. Cookies from rice flour for specialized food. «Technologies of Food and Processing Industries of Agro-industrial Complex – Healthy Food». 2017. no 1. pp. 49–55 (in Russian).
- 5 Boldina A.A., Rud M. Yu. Development of a recipe and technology for the production of gluten-free cookies using rice flour. *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*. 2015. no 1. pp. 220–225 (in Russian).
- 6 Sharma S., Saxena D.C., Riar Ch. S. Nutritional, sensory and in-vitro antioxidant characteristics of gluten free cookies prepared from flour blends of minor millets. *Journal of Cereal Science*. 2016. no 72. pp. 153–161. doi:10.1016/j.jcs.2016.10.012
- 7 Zharkova I.M., Zvyagin A.A., Miroshnichenko L.A., Slepokurova Yu. I., Roslyakov Yu. F., Koryachkina S. Ya., Gustinovich V.G. Optimizing a gluten-free diet with new food. *Pediatric Nutrition*. 2017. no 15(6). pp. 59–65. doi: 10.20953/1727-5784-2017-6-59-65 (in Russian).
- 8 Kozubaeva L.A., Kuzmina S.S., Vishnyak M.M. Gluten-free cookies made from a mixture of rice and buckwheat flour. *Bulletin of the Altai State Agriculture University*. 2010. no 7 (69). pp. 62–65 (in Russian).
- 9 Kaur M., Sandhu K.S., Arora A.P., Sharma A. Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: Physicochemical and sensory properties. *LWT-Food Science and Technology*. 2015. no 62 (1). pp. 628–632. doi:10.1016/j.lwt.2014.02.039
- 10 Demirkesen I. Formulation of chestnut cookies and their rheological and quality characteristics. *Journal of Food Quality*. 2016. no 39(4). pp. 264–273. doi: 10.1111/jfq.12209
- 11 Hamdani A.M., Wani I.A., Bhat N.A. Gluten free cookies from rice-chickpea composite flour using exudate gums from acacia, apricot and karaya. *Food Bioscience*. 2020. no 35. 100541. doi:10.1016/j.fbio.2020.100541
- 12 Li Y., Sun Y., Zhong M., Xie F., Wang H., Li L. Digestibility, textural and sensory characteristics of cookies made from residues of enzyme-assisted aqueous extraction of soybeans. *Scientific Reports*. 2020. no 10(1). pp. 1–8. doi:10.1038/s41598-020-61179-9


- 13 Christ-Ribeiro A., Chiattoni L.M., Mafaldo C.R.F., Badiale-Furlong E., de Souza-Soares L.A. Fermented rice-bran by *Saccharomyces cerevisiae*: Nutritious ingredient in the formulation of gluten-free cookies. Food Bioscience. 2021. no 40. 100859. doi:10.1016/j.fbio.2020.100859
- 14 Schmelter L., Rohm H., Struck S. Erratum to Gluten-free bakery products: Cookies made from different *Vicia faba* bean varieties. Future Foods. 2022. no 6. 100163. doi:10.1016/j.fufo.2022.100163
- 15 Sulieman A.A., Zhu K-X., Peng W., Hassan H.A., Mahdi A.A., Zhou H. – M. Influence of fermented and unfermented Agaricus bisporus polysaccharide flours on the antioxidant and structural properties of composite gluten-free cookies. LWT – Food Science and Technology. 2019. no 101. pp. 835–846. doi:10.1016/j.lwt.2018.11.007
- 16 Jones A.L. The Gluten-Free Diet: Fad or Necessity? Diabetes Spectrum. 2017. vol. 30. no 2. pp. 118–123. doi:10.2337/ds16-0022
- 17 Schmucker C., Eisele-Metzger A., Meerpohl J.J., Lehane C., Kuellenberg de Gaudry D., Lohner S., Schwingshackl L. Effects of a gluten-reduced or gluten-free diet for the primary prevention of cardiovascular disease. Review. Cochrane Database Syst Rev. 2022. no 2(2). CD013556. doi:10.1002/14651858.CD013556.pub2
- 18 Salazar V.A.G., Encalada S.V., Cruz A.C., Campos M.R.S. Stevia rebaudiana: A sweetener and potential bioactive ingredient in the development of functional cookies. Journal of Functional Foods. 2018. no 44. pp. 183–190. doi:10.1016/j.jff.2018.03.007
- 19 Strelkova A.K., Krasina I.B., Filippova E.V., Lysenko A.V. The effect of sweeteners and dietary fiber on the textural properties of gluten-free dough and cookies. News of higher educational institutions. Food technology. 2021. no 2–3. pp. 45–49. doi:10.26297/0579–3009.2021.2–3.11 (in Russian).
- 20 Bukolt K., Ramirez N., Saenz A., Mirza K., Bhaduri S., Navder K. To measure the effectiveness of a stevia and Benefiber combination as a sugar replacer in oatmeal raisin cookies. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2018. vol. 118. no 9. A 55. doi:10.1016/J.JAND.2018.06.214
- 21 Olawoye B., Gbadamosi S.O., Otemuyiwa I.O., Akanbi Ch. T. Gluten-free cookies with low glycemic index and glycemic load: optimization of the process variables via response surface methodology and artificial neural network. Heliyon. 2020. no 6. e05117. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e05117
- 22 Rakmai Ja., Haruthaithanasan V., Chompreeda P., Chatakanonda P., Yonkoksung U. Development of gluten-free and low glycemic index rice pancake: Impact of dietary fiber and low-calorie sweeteners on texture profile, sensory properties, and glycemic index. Food Hydrocolloids for Health. 2021. no 1. 100034. doi:10.1016/j.fhfh.2021.100034
- 23 Mezenova O. Ya., Kazakova O.N. Modeling the recipe for diabetic cookies with the addition of stevia and Jerusalem artichoke. Journal International Academy of Refrigeration. 2010. no 4. pp. 23–26. (in Russian).
- 24 Luo X., Arcot J., Gill T., Louie J.C.Y., Rangan A. A review of food reformulation of baked products to reduce added sugar intake. Trends in Food Science & Technology. 2019. no 86. pp. 412–425. doi:10.1016/j.tifs.2019.02.051
- 25 Ahmad J., Khan I., Blundell R., Azzopardi Jo., Mahomoodally M.F. Stevia rebaudiana Bertoni.: an updated review of its health benefits, industrial applications and safety. Trends in Food Science & Technology. 2020. no 100. pp. 177–189. doi:10.1016/j.tifs.2020.04.030
- 26 Ahmad U., Ahmad R. Sh. Nutritional, Physicochemical and Organoleptic Evaluation of Low Calorie Muffins Using Natural Sweetener Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni). Journal of Nutrition & Food Sciences. 2018. V. 8. no 2. 1000673. doi: 10.4172/2155–9600.1000673
- 27 Nilova L.P. Vytovtov A.A., Malyutenkova S.M., Laboyko I. Yu. Safety problems of bakery products: trans-isomers of fatty acids. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnologies. 2017. vol. 5. no 2. pp. 78–86. (in Russian) doi:10.14529/food170210
- 28 Gharai Z., Hossein Azizi M., Barzegar M., Gavligi H.A. Gum tragacanth oil/gels as an alternative to shortening in cookies: Rheological, chemical and textural properties. LWT – Food Science and Technology. 2019. no 105. pp. 265–271. doi: 10.1016/j.lwt.2019.02.025.
- 29 Nilova L., Pilipenko T., Malyutenkova S. An investigation into the effects of bioactive substances from vegetable oils on the antioxidant properties of bakery products. Agronomy Research. 2017. V.15. no S2. pp.1399–1410. doi:10.15159/AR.18.055
- 30 Barragán-Martínez L.P., Román-Guerrero A., Vernon-Carter E.J., Alvarez-Ramirez J. Impact of fat replacement by a hybrid gel (canola oil/candelilla wax oleogel and gelatinized corn starch hydrogel) on dough viscoelasticity, color, texture, structure, and starch digestibility of sugar-snap cookies. International Journal of Gastronomy and Food Science. 2022. no 29. 100563. doi:10.1016/j.ijgfs.2022.100563
- 31 Perez-Santana M., Cagampang G.B., Gu L., MacIntosh Ia. S., Percival S.S., MacIntosh A.J. Characterization of physical properties and retention of bioactive compounds in cookies made with high oleic red palm olein. LWT – Food Science and Technology. 2021. no 147. pp. 111499. doi:10.1016/j.lwt.2021.111499
- 32 Renzyaeva T.V., Tuboltseva A.S., Renzyaev A.O. Various Flours in Pastry Production Technology. Food Processing: Techniques and Technology. 2022. vol. 52. no 2. pp. 407–416. (in Russian). doi:10.21603/2074–9414–2022–2–2373
- 33 Mudgil D., Barak Sh., Khatkar B.S. Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels. LWT – Food Science and Technology. 2017. no 80. pp. 537–542. doi:10.1016/j.lwt.2017.03.009
- 34 Samakradhamrongthai R.S., Maneechot S., Wangpankhajorn P., Jannu T., Renaldi G. Polydextrose and guar gum as a fat substitute in rice cookies and its physical, textural, and sensory properties. Food Chemistry Advances. 2022. no 1. 100058. doi:10.1016/j.focha.2022.100058

# Сведения об авторах


**Людмила П. Нилова** к.т.н., доцент, Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия, nilova\_l\_p@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5154-7095>

**Светлана М. Малютенкова** к.т.н., доцент, Высшая школа сервиса и торговли, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, 195251, Россия, smal2011@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8081-6688>

**Людмила Н. Шмакова** к.т.н., доцент, Кировский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. К. Маркса, 112, г. Киров, 610027, Россия, zontik-34@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2998-1909>

## Вклад авторов

**Людмила П. Нилова** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Светлана М. Малютенкова** провёл эксперимент, выполнил расчёты


**Людмила Н. Шмакова** предложил методику проведения эксперимента, консультация в ходе исследования

## Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# Information about authors


**Liudmila P. Nilova** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Saint-Petersburg, 195251, Russia, nilova\_l\_p@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5154-7095>

**Svetlana M. Malyutenkova** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Graduate School of Service and Trade, Institute of Industrial Management, Economics and Trade, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Politechnicheskaya St., 29, Saint-Petersburg, 195251, Russia, smal2011@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8081-6688>

**Liudmila N. Shmakova** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Management and Commodity Science, Kirov State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, st. K. Marx, 112, Kirov, 610027, Russia, zontik-34@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2998-1909>

## Contribution

**Liudmila P. Nilova** review of the literature on an investigated problem, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Svetlana M. Malyutenkova** conducted an experiment, performed computations




**Liudmila N. Shmakova** proposed a scheme of the experiment and organized production trials, consultation during the study

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/09/2022	После редакции 12/10/2022	Принята в печать 22/10/2022
Received 20/09/2022	Accepted in revised 12/10/2022	Accepted 22/10/2022

## Структурированный продукт из солёно-сушеного минтая




Светлана С. Дубровина<sup>1</sup> [ssdubrovina21@gmail.com](mailto:ssdubrovina21@gmail.com)  0000-0003-0515-1513  
 Владимир А. Гроховский<sup>1</sup> [v.grokhosky@mail.ru](mailto:v.grokhosky@mail.ru)  0000-0002-1892-0257  
 Сергей Ю. Дубровин<sup>1</sup> [dubrovinsyu@mstu.edu.ru](mailto:dubrovinsyu@mstu.edu.ru)  0000-0003-4049-2807

<sup>1</sup> Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия

**Аннотация.** В работе проведено изучение желирующей способности различных марок пищевого желатина, проведены аналитические исследования по установлению возможности использования массового и недорогого объекта промысла – минтая на пищевые цели, разработана технологическая схема изготовления нового структурированного рыбного продукта, проведены эксперименты по его изготовлению. Разработана шкала органолептической оценки качества структурированного рыбного продукта, включающая коэффициенты значимости, из которых наиболее высокие приходятся на самые характерные сенсорные показатели: внешний вид, вкус, консистенцию, аромат, а также балльная шкала характеристики степени разжевывания формованного изделия. В результате органолептической оценки структурированных рыбных продуктов определено близкое к оптимальному соотношение рыбы и структурообразователя солёно-сушеного мелкоизмельченного мяса от общей массы системы. Созданный продукт с указанным соотношением рыбы и желатиной получил наиболее высокий балл, по органолептической оценке, что свидетельствует о его превосходных качественных характеристиках. Результаты исследований показана перспективность технологического решения разработанного нового формованного продукта из солёно-сушеного минтая с использованием в качестве структурообразователя водного раствора желатина марки 220 bloom в концентрации 10% при соотношении рыбной и желатиновой составляющих 3:7.

**Ключевые слова:** рыбная продукция, формованный продукт, желатин пищевой, реологические свойства.

## Half-dried fish with improved properties

Svetlana S. Dubrovina<sup>1</sup> [ssdubrovina21@gmail.com](mailto:ssdubrovina21@gmail.com)  0000-0003-0515-1513  
 Vladimir A. Grohovskiy<sup>1</sup> [v.grokhosky@mail.ru](mailto:v.grokhosky@mail.ru)  0000-0002-1892-0257  
 Sergey Y. Dubrovin<sup>1</sup> [dubrovinsyu@mstu.edu.ru](mailto:dubrovinsyu@mstu.edu.ru)  0000-0003-4049-2807

<sup>1</sup> Murmansk State Technical University, st. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia

**Abstract.** The research of gelling ability of different grades of food gelatin has been conducted, analytical researches have been carried out to establish the possibility of using a mass and inexpensive object of fishing - pollack for food purposes; the technological scheme of making a new structured fish product has been developed and experiments on its making have been carried out. There has been developed a scale of organoleptic evaluation of structured fish product quality, including significance coefficients, the highest of which are typical sensory indices: appearance, taste, consistency, flavour and also point scale of chewing degree of the molded product. As a result of organoleptic evaluation of structured fish products we have determined close to optimal correlation between fish and structurer of salt-dried finely-milled meat from the total mass of the system. The created product with the indicated ratio of fish and gelatin has got the highest score according to organoleptic evaluation, which testifies to its excellent quality characteristics. The results of investigations show the technological perspectivity of the developed new molded product of salted and dried pollock using as a structure-forming agent the water solution of gelatin of 220 bloom grade in concentration of 10 % at a ratio of fish and gelatinous components 3:7.

**Keywords:** fish products, molded product, food gelatin, rheological properties.

### Введение

Особый интерес для создания структурированной рыбной продукции представляет такой вид рыбы семейства тресковых, как минтай, характеризующийся низким содержанием жира и ярко выраженными вкусо-ароматическими свойствами. Этот вид является преимущественно дальневосточным промысловым объектом, при этом «...среди морских водных биологических ресурсов, которыми владеет Российская Федерация в пределах своей исключительной экономической зоны, запасы минтая и объёмы добычи самые высокие

по сравнению с другими водными сырьевыми источниками. Вылов этой рыбы за последние 4 года находится на уровне 1,6–1,8 млн т в год и составляет до одной трети общероссийского. Это больше, чем суммарный улов российских рыбаков в Европейской части России во всех промысловых зонах и по всем объектам, доступным для промышленного освоения...» [1–4]. Поэтому не случайно, что минтай в мороженом виде круглогодично присутствует на оптовых базах и, практически, во всех маркетах Российской Федерации – от Калининградского региона до Камчатки и от Юга России до арктического российского Севера.

Для цитирования

Дубровина С.С., Гроховский В.А., Дубровин С.Ю. Структурированный продукт из солёно-сушеного минтая // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 133–140. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-133-140

For citation

Dubrovina S.S., Grokhovsky V.A., Dubrovin S.Yu. Half-dried fish with improved properties. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 133–140. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-133-140

Минтай пользуется значительным спросом на мировом рынке в качестве сырья, в основном, для дальнейшего производства продукции уже с добавленной стоимостью. Обитающий в холодноводных районах чистых морских пространств, в частности, наиболее обилен минтай в Беринговом и Охотском морях, этот вид семейства тресковых не является продуктом марикультуры, поэтому продукция из него априори считается экологически чистой. В этой связи мировой спрос на рыбопродукцию, в том числе из минтая, обусловлен явно выраженным трендом увеличения потребления экологически чистых и полноценных морских продуктов в плане обеспечения организма белками, витаминами, минералами. Химический состав тресковых видов рыб, в том числе и минтая, довольно хорошо изучен [5; 13; 21], содержание белка в филе минтая в среднем составляет 15,9%, липидов – 0,9%, воды – 81,9%, минеральных веществ – 1,3%. Ряд авторов отмечают, что как пищевой продукт «...минтай характеризуется гипоаллергенными и диетическими свойствами» [6].

Формованные изделия получили широкое распространение при выпуске аналоговых продуктов, имитирующие дорогостоящие натуральные морепродукты. Их получают, как правило, из обезличенного рыбного фарша путём наполнения приготовленной массой специальных форм с последующей обработкой любым способом, позволяющим закрепить приданную конфигурацию. С этой целью для закрепления формы используют: замораживание в виде блоков с последующей резкой на палочки; формование под высоким давлением в виде порций; экструзию подготовленной смеси с последующим закреплением формы продукта. Основным сырьём для получения аналогов служит фарш особых кондиций – высококачественный обезличенный фарш. Большое влияние на качество формованной продукции оказывают способы закрепления формы продукта. С этой целью используются связующие пасты, содержащие яичный альбумин, молочный казеин, альгинаты, желатин, а также дополнительные процессы: термообработка, подпрессовка, экструзия, обработка кислотой. [7, 12, 14, 15, 17–20, 22] В настоящее время пищевая промышленность располагает рядом технологий производства гелеобразующих сред, в которых белково-полисахаридные комплексы часто применяются в качестве структурообразователей для получения гелей с определёнными структурно-механическими свойствами [23].

С этой целью «...как правило, используется традиционный технологический процесс, где основу гелеобразующей среды составляет желатина или коллагенсодержащее рыбное сырьё» [24].

Технология формованных продуктов – достаточно сложна, требует использования дорогостоящего оборудования и материалов. В этой связи разработка нового формованного высококачественного продукта, отличающегося не только привлекательными вкусовыми свойствами, но и высокими прочностными характеристиками является весьма перспективным направлением исследований.

Таким образом, для исследователей открывается широкое поле деятельности по разработке технологий и создания новых видов продукции из минтая, в частности, структурированных и формованных продуктов, что и предопределяет актуальность данной работы.

**Цель работы** – создание нового структурированного продукта с использованием измельчённой солёно-сушеной мышечной ткани минтая и структурообразователя – желатина.

#### Материалы и методы

В качестве рыбного сырья использовали минтай потрошенный обезглавленный мороженный, соответствующий требованиям ГОСТ 32366–2013 [8], приёмку его осуществляли по ГОСТ 31339–2006 [9].

В качестве структурообразователя использовали желатин марок 140, 180 и 220 bloom по СТО 0149295561–001–2019.

Для исследований использовали мышечную ткань атлантического минтая (*Theragrafinnmarchica*). Минтай выловлен в районе Охотского моря весной (март) и осенью (октябрь) 2021 года. Вся рыба была заморожена и доставлена в порт Мурманск, где хранилась до исследований в течение 1 месяца в промышленной морозильной камере КХ-23 при температуре не выше минус 25 °С.

Желатиновые растворы готовили следующим образом: сухой желатин каждой марки замачивали в воде температурой 8 – 10° С на 4–5 мин и готовили растворы со следующими концентрациями: 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20%.

Усилие резания образцов структурообразователя и формованной продукции определяли с помощью анализатора текстуры FRTS series/ IMADA FRTS-50N (фирмы IMADA CO., LTD, Япония») при использовании конического индентора, погружаемого на глубину 10 мм при постоянной скорости и температуре 20 °С.



Органолептическую оценку исследуемых образцов (степени разжёвывания продукта) проводили на основе балльных шкал (ISO 4121:2003).

Химический состав и солёность рыбы определяли стандартными методами по ГОСТ 7636–85 [10].

Экспериментальная часть работы выполняли на базе научно-исследовательской лаборатории кафедры «Технологии пищевых производств» и на промышленном оборудовании учебно-экспериментального цеха Мурманского государственного технического университета.

### Результаты и обсуждение

На первой стадии исследований, поскольку желатин выпускается промышленностью разных марок (140, 180, 220 bloom и др.), отличающихся максимальными величинами усилия нагружения в блоках («Bloomstrength»), были проведены исследования по выбору наиболее приемлемой по реологическим и органолептическим показателям марки этого структурообразователя.

По методике, описанной в предыдущем разделе, готовили водные растворы желатина вышеперечисленных марок.

Полученные растворы разливали в специальные полусферические формы объёмом 5 см<sup>3</sup> фото образцов представлено на рис. 1).

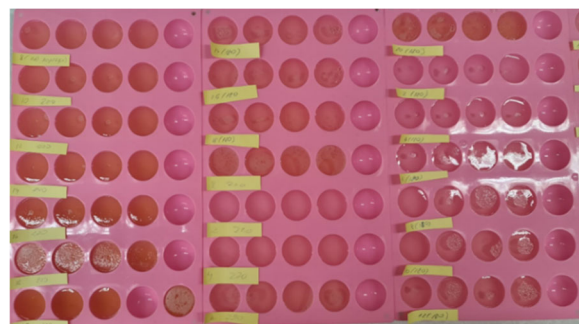


Рисунок 1. Образцы гелей различных концентраций желатина марок 140, 180, 220 bloom в полусферических формах

Figure 1. Samples of gels of various concentrations of gelatin grades 140, 180, 220 bloom in hemispherical forms

Затем после застывания в течение 60 мин образцы образовавшегося геля – подвергали органолептическим (степени разжёвывания продукта) на основании разработанной пятибалльной шкалы, которая представлена в таблице 1, и инструментальным (усилию резания) исследованиям с использованием анализатора текстуры.

Таблица 1.

Балльная шкала характеристики степени разжёвывания формованного продукта

Table 1.

Point scale characteristics of the degree of chewing of the molded product

Баллы Score	Характеристика Characteristics
1	Продукт имеет резиновую консистенцию, пережевывается с большим трудом (при больших концентрациях желатина), либо продукт имеет очень мягкую, близкую к слизеобразной консистенцию (при малых концентрациях структурообразователя)
2	Продукт пережевывается с трудом, ощущения не очень приятные (при больших концентрациях желатина), либо продукт имеет мягкую, размазывающуюся консистенцию (при малых концентрациях структурообразователя)
3	Ощущения затруднительного пережевывания с чувством явного дискомфорта (при больших концентрациях желатина, либо продукт имеет мягковатую, не очень приятную по ощущениям консистенцию (при малых концентрациях структурообразователя)
4	Продукт неплохо пережевывается, но с небольшим чувством дискомфорта
5	Приятные ощущения при разжевывании продукта, который вызывает чувство удовольствия

Наилучшие результаты проведённых исследований по определению зависимости реологических (усилия резания) и органолептических показателей (удовлетворенность при разжевывании) в зависимости от концентрации гелей желатина различных марок «Удовлетворенность при разжевывании» (5 баллов) соответствует «Усилению резания» в диапазоне от 3 до 5 н/м<sup>2</sup>, при этом, оптимальными концентрациями желатина при изготовлении геля являются: марка 220 Б – от 10 до 12%; марка 180 Б – от 16 до 18%; марка 140 Б – около 18%.

На наш взгляд, наиболее приемлемой маркой желатина для получения геля с отличными органолептическими свойствами

(удовлетворённости при разжевывании) является желатин 220 bloom с концентрацией 10%.

На следующей стадии исследований был разработан алгоритм изготовления нового вида формованного продукта из минтая, заключающийся в следующем:

Приемка мороженого сырья – хранение – размораживание – сортирование – ополаскивание – разделка на филе обесшкурное – мойка и стекание – посол – сушка – измельчение – подготовка желатина марки 220 bloom – введение измельчённой солёно-сушёной рыбной фракции в раствор желатины – добавление ингредиентов – миксерование до однородной массы – подготовка форм – выливание

полужидкой рыбно-желатиновой массы в формы – застывание – извлечение структурированного продукта из форм – контроль качества – взвешивание – упаковка – маркировка – хранение.

В первой серии экспериментов предполагалось установить композиционный состав нового структурированного продукта (близкое к оптимальному соотношение измельчённого солёно-сушеного минтая и структурообразователя).

Минтай после размораживания в воде при температуре не более 20 °С подвергали осмотру и сортированию, ополаскивали проточной водой комнатной температуры, разделяли вручную. Полученное филе промывали в проточной воде, подвергали стеканию, помещая рыбу на специальные стеллажи на 10–15 мин, затем направляли на сухой посол. По окончании посола филе минтая промывали пресной проточной водой, подвергали стеканию и оставляли на 2,5–3 часа на перераспределение соли в рыбе. В ходе экспериментов было применено два способа сушки филе: конвекционный и сублимационный. При конвекционном способе филе рыбы раскладывали на специальные сетки, загружали их в клетки и направляли на сушку. Процесс обезвоживания продолжался в течение 8–10 час при температуре воздуха 24–26 °С, его относительной влажности 50–55% и скорости воздуха 0,5 м/с до содержания воды в рыбе 12–24% и содержания NaCl 4–5%. При сублимационном способе обезвоживание филе рыбы проводили с помощью лиофильной сушилки Labconco FreeZone (США) при температуре минус 50 °С в течение 15 часов.

По окончании сушки обоими способами солёно-сушёное филе рыбы измельчали с помощью электромясорубки APACH ATS8 (изготовитель – фирма APACH, Италия) до размеров частиц мяса минтая от 0,1 до 0,5 мм, таким образом подготовив основное сырьё для смешивания и миксирования с раствором структурообразователя. Размер частиц определяли микроскопическим методом с помощью оптического микроскопа Olimpus CX43 (Япония).

Раствор желатины подогревали до 60 °С и в таком жидком состоянии вводили в куттер APACH ACT4 (фирма APACH, Италия) для получения однородной композиции с мелкоизмельчённым солёно-сушёным мясом минтая. Кроме того, в ходе эксперимента в раствор желатины были добавлены гелевые красители Gleb Colors 158 Mojito, 169 Lilac, 107 Lemon yellow, 113 Orange. По оценкам дегустаторов наиболее приемлемыми являются 113 Orange и 169 Lilac.

Для выбора наиболее приемлемого структурообразователя и определению близкого к оптимальному соотношения желатины и рыбного сырья для создания нового формованного продукта, было проведено очередные эксперименты. Мелкоизмельчённое солёно-сушеное мясо минтая добавлялось в куттер APACH ACT4 к раствору желатины в разных пропорциях (10; 20; 30; 40% солёно-сушеного мелкоизмельченного мяса от общей массы системы), далее смесь подвергалась миксерованию, а после завершения этого процесса методом выливания проводилось заполнение полученной густой жидкой массы специальных форм. Заполненные формы с подготовленной композицией охлаждались и приобретали свойства геля при температуре воздуха в лаборатории 20 – 22 °С, после чего подвергались органолептической оценке группой дегустаторов.

Полученные образцы структурированного рыбного продукта представлены на фото (рисунок 2).



Рисунок 2. Образцы созданного структурированного рыбного продукта

Figure 2. Samples of the created structured fish product

Качество полученных структурированных образцов продукции определяли по ранее разработанной с учётом рекомендаций [11, 16] для оценки качества вновь создаваемой пищевой рыбной продукции 20-балльной шкале, включающей коэффициенты значимости, из которых наиболее высокие приходятся на самые характерные органолептические показатели: внешний вид, вкус, консистенцию.

Готовый продукт считали превосходным при общей суммарной оценке качества равной 18,1–20 баллам, отличным от 16,1 до 18, хорошим от 14,1 до 16 и удовлетворительным от 12,1 до 14 баллам.

Результаты эксперимента свидетельствуют о наилучших сенсорных показателях созданного структурированного рыбного продукта, изготовленного при соотношении рыбы 30% и раствора структурообразователя 70%.

Кроме того, по результатам дегустаций, существенных различий при оценке качества готового продукта, изготовленного с использованием различных способов сушки

(конвекционной и сублимационной) не выявлено, что привело к решению использования в дальнейших экспериментах конвекционного способа как наиболее эффективного и менее энергозатратного.

Далее в ходе работы также был проведен ряд экспериментов с целью оценки органолептических показателей при добавлении измельченного солёно-сушёного филе минтая, подготовленного аналогично измельченному солёно-сушёному филе камбалы-ерша. Результаты поисковых экспериментов показали, что при соотношении мелкоизмельчённых солёно-сушеного мяса минтая и мяса камбалы-ерша примерно 6:1 органолептические показатели созданного структурированного рыбного продукта были достаточно высокими.

С целью установления при изготовлении нового формованного рыбного продукта близких к оптимальным таких факторов, как концентрация желатина ( $X_1$ ) с интервалом варьирования, равным 5%, и соотношение сухих веществ в измельченных мясе камбалы-ерша и мясе минтая ( $X_2$ ) с интервалом в 4%, проведено планирование эксперимента [25], исходные данные которого представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Значения изменяемых факторов, интервалы и пределы

Table 2.

Values of variable factors, intervals and limits

Факторы Factors	Значения			Интервал Interval
	-1	0	+1	
$X_1$ , %	5	10	15	5
$X_2$ , %	10	14	18	4

В качестве параметра оптимизации ( $Y$ ) выбрана органолептическая оценка создаваемого структурированного продукта в баллах в соответствии с ранее разработанной 20-балльной шкалой, включающей коэффициенты значимости [11, 16].

По отработанной технологии, в соответствии с планом эксперимента, были изготовлены образцы нового структурированного продукта с использованием соответствующих концентраций раствора желатина марки 220 bloom и нужных соотношений сухих веществ в измельченных мясе камбалы-ерша и мясе минтая. Полученные образцы нового структурированного продукта были подвергнуты органолептической оценке. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты экспериментальных работ по изготовлению образцов структурированного продукта с использованием желатина и измельченных мяса камбалы-ерша и мяса минтая

Table 3.

Results of experimental work on the production of structured product samples using gelatin and crushed flounder ruff and pollock meat

$X_1$	$X_2$	$Y$
15	18	16,9
15	10	16,4
5	18	15,3
5	10	15,0
10	14	19,5
3,6*	14	14,5
16,4*	14	17,3
10	8,6*	16,0
10	19,4*	19,7

\* – звёздные точки [Решетников М.Т., 25]

С помощью программы Data Fit 9.1 была проведена математическая обработка результатов экспериментов [25] указанных в таблице 3 и получены соответствующее уравнение регрессии, адекватно описывающее влияние используемых ингредиентов на органолептическую оценку качества готового структурированного продукта.

$$Y = 77,78 + 1,61 \cdot X_1 - 0,072 \cdot X_1^2 - 26,77 \cdot X_2 + 3,554 \cdot X_2^2 - 0,195 \cdot X_2^3 + 0,004 \cdot X_2^4 \quad (1)$$

Критерий Фишера для данного уравнения составляет 72,8, что означает, что с вероятностью 0,95 оно достоверно описывает изменение параметра оптимизации от влияющих факторов  $X_1$  и  $X_2$  (вероятность неадекватности составляет 1,36%).

Полученное уравнение регрессии позволяет не только предсказать значение функции отклика для заданных условий проведения эксперимента, но и дает информацию о форме поверхности отклика.

Графическая интерпретация уравнения регрессии (1) по установлению оптимальных факторов  $X_1$  и  $X_2$  представлена на рисунке 3.

Поверхность отклика свидетельствует о локальном максимуме в пределах факторного пространства. Очевидно, что наилучшими свойствами будут обладать образцы при  $X_1=11,21$ ,  $X_2=13,39$ . Оптимальные параметры  $X_1$  и  $X_2$  были определены методом дифференцирования [25] (нахождения экстремумов). Тем не менее, наблюдаются признаки экстремума (максимума) при  $X_2 > 20$ , однако это соответствует уже другой ассортиментной группе продукции.

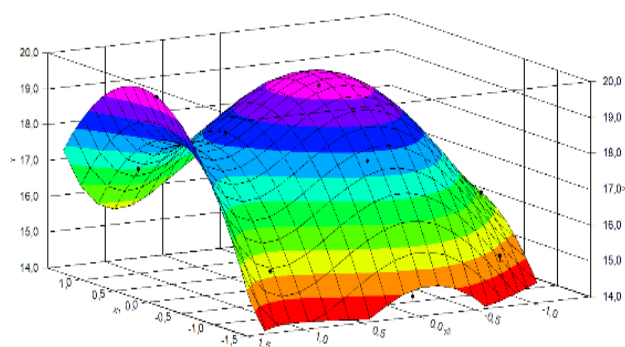


Рисунок 3. Поверхность отклика при исследовании влияния раствора желатина марки 220 bloom и соотношений сухих веществ в измельченных мясе камбалы-ерша и мясе минтая на органолептическую оценку готового структурированного продукта

Figure 3. Response surface in the study of the effect of the 220 bloom gelatin solution and the ratios of solids in crushed flounder-ruff meat and pollock meat on the organoleptic evaluation of the finished structured product

### Заключение

Комплекс проведенных экспериментов позволил разработать принципиально новый по сравнению с известными изделиями [7; 12; 14; 15] формованный продукт из минтая, отличающийся использованием в рецептуре высушенного солёного филе минтая и раствора желатина в качестве структурообразователя. В процессе исследований разработана принципиальная технология его производства, отличающаяся использованием сухого посола филе рыбы, выдержкой полуфабриката в течение 2,5–3 часов для перераспределения соли, последующей конвекционной сушкой, измельчением сухого полуфабриката, смешиванию его с раствором желатины, заливки в формы и выдержки в течение определённого времени при комнатной температуре с целью образования прочного геля. Органолептическими и инструментальными методами оценки проанализированы гели, образованные желатиной марок 220, 180 и 140 bloom, приготовленные из водных растворов в концентрации от 6 до 20% (с шагом 2%). Анализ реологических свойств гелей показал, что наиболее приемлемой маркой желатина для получения геля с отличными органолептическими свойствами (удовлетворённости при разжёвывании) является желатин 220 bloom с концентрацией 10%.

Последующий этап исследований по установлению соотношения желатины и рыбного сырья предполагал изготовление формованного продукта при варьировании соотношения мелкоизмельчённого солёно-сушеного мяса минтая и раствора желатины в разных пропорциях (10%, 20%; 30%; 40% солёно-сушеного мелкоизмельченного мяса от общей массы системы). Сенсорная оценка комплекса качественных характеристик полученных продуктов позволила установить соотношение рыбного сырья и структурообразователя: 30 и 70%, соответственно, при которой общая суммарная органолептическая оценка была максимальной (19,6 баллов).

В технологии нового продукта использовано недорогое экологичное сырьё, а также стандартное оборудование, что делает процесс его изготовления экономически выгодным.

Результаты данных исследований показали, что созданный структурированный продукт из солёно-сушёного минтая, состоящий всего из двух основных компонентов естественного происхождения, с привлекательным внешним видом и отличными вкусовыми достоинствами, безусловно, займёт свою нишу на рынке рыбных продуктов. Исследования предполагается продолжить.

В результате проведенных исследований разработан новый вид пищевого формованного продукта. В качестве сырья использован минтай – объект массового промысла рыба семейства тресковых. Разработан алгоритм изготовления продукта, определены основные рецептурные составляющие (30% высушенного солёного фарша минтая и 70% десятипроцентного водного раствора желатина марки 220 bloom. Авторы предполагают продолжить исследования по оптимизации технологической схемы, определению показателей пищевой и биологической ценности разработанного продукта, установлению его сроков годности, а также обоснованию экономических показателей эффективности внедрения продукта в производство. Практическая значимость исследования заключается в разработке продукта, который можно реализовать широкому кругу потребителей, используя в качестве сырьевого источника массовые виды рыб невысокой стоимости.

## Литература

- 1 Вылов водных биоресурсов в 2018 году превысил 5 млн. тонн URL: <http://pollock.ru/press-czentr/novosti-otrasli/vyilov-vodnyix-bioresursov-v-2018-godu-prevyisil-5-mln.-tonn.html>
- 2 Сколько рыбы выловили в России в 2019 году URL: <https://zavodfoto.livejournal.com/6534012.html>
- 3 Сколько рыбы выловили российские рыбаки в 2020 году URL: <https://zavodfoto.livejournal.com/6705350.html>
- 4 Объем мировой добычи минтая в 2019 году снизится из-за сокращения промысла в США URL: <http://fishkamchatka.ru/articles/world/26761/>
- 5 Минтай: полезные свойства, противопоказания к применению, химический состав рыбы URL: <https://www.stomdet.ru/meditsinskie-preparaty/mintaj-poleznye-svoystva-protivopokazaniya-k-primeneniyu-himicheskij-sostav-ryby.html/>
- 6 Абрамова, Л.С. Минтай (Theragrachalcogramma) – перспективное сырье для организации рационов питания в образовательных учреждениях. / Л.С. Абрамова, В.В. Гершунская // Рыбное хозяйство, № 1, 2014, С. 90–93.
- 7 Данкбарас И.В. Разработка технологии производства рыбы в желатинной заливке с использованием казеината // Дис... канд. техн. наук. Кемерово: ГОУ ВПО Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2006, 123 с.
- 8 ГОСТ 32366–2013. Рыба мороженная. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 22 с.
- 9 ГОСТ 31339–2006. Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приёмки и методы отбора проб. – М.: Стандартинформ, 2010. – С. 189–204
- 10 ГОСТ 7636–85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа: взамен ГОСТ 7636–55, ГОСТ 13893–68, ГОСТ 17258–71, ГОСТ 17259–71, ГОСТ 18657–73: дата введения 1986–01–01. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 88 с.
- 11 Квалиметрия и управление качеством пищевой промышленности / Н.И. Дунченко, В.С. Кочетов, В.С. Янковская, А.А. Коренкова. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2010. – 287 с.
- 12 Низковская, О.Ф. Создание нового формованного продукта из гидробионтов функционального назначения // О.Ф. Низковская, В.А. Гроховский / Журнал «Рыбное хозяйство», М., 2009, № 5, С. 75–77.
- 13 Справочник по химическому составу и технологическим свойствам морских и океанических рыб / ВНИРО; сост. В.П. Быков [и др.]; под ред. В.П. Быкова. – М.: ВНИРО. 1998. – 223 с.
- 14 Куранова Л.К. Создание аналоговой продукции с заданными свойствами, имитирующей мускул морского гребешка / Куранова Л.К., Дубровин С.Ю. / «Рыбное хозяйство», № 1, 2010 г., стр. 88–90.
- 15 Разработка нового вида структурированного рыбного продукта / Николаев Д.А. Дубровин С.Ю., Куранова Л.К. / – Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств: материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 8 апреля 2016 г.: в 2 ч.: ч. 2 / Федер. гос. бюджетное образоват. учреждение высш. проф. образования «Мурм. гос. техн. ун-т». – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2016 – С. 53–58.
- 16 Сенсорный анализ продуктов из гидробионтов / Г.Н. Ким, И.Н. Ким, Т.М. Сафронова, Е.В. Мегода. – М.: Колос, 2008. – 493 с.
- 17 Приготовление вяленой, подвяленной и копченой формованной продукции из рыбного фарша / Т.Н. Слуцкая, Т.В. Кузнецова, О.В. Логачева, Г.М. Кимчишина // Рыб. хоз-во. – 1988. – № 3. – С. 83–84.
- 18 Прогрессивные технологические процессы обработки рыбы и морепродуктов: межвуз. сб. науч. тр. / Калинингр. гос. техн. ун-т; отв. ред. Ю.А. Фатыхов. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2002. – 108 с.
- 19 Унифицированная рыбная масса для производства формованных изделий / В.Д. Богданов, Е.В. Якуш, Л.П. Ольховая, Л.Д. Петрова // Рыб. пром-сть. – 2005. – № 2. – С. 24–27.
- 20 Фатыхов, Ю.А. Экструзионные технологии пищевых производств / Ю.А. Фатыхов, Л. Канопка. – Вильнюс: Техника, 2007. – 88 с.
- 21 Nutrient analysis of underutilized fish species for the production of protein food. Derkach S.R., Grokhovsky V.A., Kuranova L.K., and Volchenko V.I. Foods and Raw Materials, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 15–23.
- 22 Influence of gelatin additives on the rheological properties of a Fucus vesiculosus extract Nicolay G. Voron'ko, Svetlana R. Derkach, Yuliya V. Kuchina, Nina I. Sokolan, Lyudmila K. Kuranova, Ekaterina D. Obluchinskaya. Food Bioscience, 29 (2019), 1–8.
- 23 Реологическое поведение гелей желатины с добавками анионного полисахарида [Текст] / А.А. Маклакова [и др.] // Известия Калининградского государственного технического университета. 2012. № 25. С. 9097. Библиогр.: с. 97.
- 24 Николаев Д.А. и др. Апробирование прибора Food Checker при изучении реологических свойств структурированного рыбного продукта, изготовленного с использованием желатина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2016 № 4. С. 139–144.
- 25 Решетников М.Т. Планирование эксперимента и статистическая обработка данных: учеб. пособ. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2000. 231 с.


## References


- 1 The catch of aquatic biological resources in 2018 exceeded 5 million tons URL: <http://pollock.ru/press-czentr/novosti-otrasli/vyilov-vodnyix-bioresursov-v-2018-godu-prevyisil-5-mln.-tonn.html>
- 2 How many fish were caught in Russia in 2019 URL: <https://zavodfoto.livejournal.com/6534012.html>
- 3 How many fish were caught by Russian fishermen in 2020 URL: <https://zavodfoto.livejournal.com/6705350.html>
- 4 The volume of world pollock production in 2019 will decrease due to the reduction of fishing in the USA URL: <http://fishkamchatka.ru/articles/world/26761/>
- 5 Pollock: useful properties, contraindications to use, chemical composition of fish URL: <https://www.stomdet.ru/meditsinskie-preparaty/mintaj-poleznye-svoystva-protivopokazaniya-k-primeneniyu-himicheskij-sostav-ryby.html>
- 6 Abramova, L.S. Pollock (Theragrachalcogramma) – promising raw materials for the organization of food rations in educational institutions. / L.S. Abramova, V.V. Gershunskaya // Fisheries, No. 1, 2014, pp. 90–93.




- 7 Dankbaras I.V. Development of technology for the production of fish in jelly filling using caseinate // Dis... candidate of Technical Sciences. Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry, 2006, 123 p.
- 8 GOST 32366–2013. Frozen fish. Technical specifications. – Moscow: Standartinform, 2014. – 22 p.
- 9 GOST 31339–2006. Fish, non-fish objects and products from them. Acceptance rules and sampling methods. – Moscow: Standartinform, 2010. – pp. 189–204 (with Amendments 1–3).
- 10 GOST 7636–85. Fish, marine mammals, marine invertebrates and products of their processing. Methods of analysis: instead of GOST 7636–55, GOST 13893–68, GOST 17258–71, GOST 17259–71, GOST 18657–73: date of introduction 1986–01–01. – Moscow: Standartinform, 2010. – 88 p.
- 11 Qualimetry and quality management of the food industry / N.I. Dunchenko, V.S. Kochetov, V.S. Yankovskaya, A.A. Korenkova. – M.: Publishing House of the Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2010. – 287 p.
- 12 Nizkovskaya, O.F. Creation of a new molded product from hydrobionts of functional purpose // O.F. Nizkovskaya, V.A. Grokhovsky / Journal "Fisheries", M., 2009, No. 5, pp. 75–77.
- 13 Handbook of chemical composition and technological properties of marine and oceanic fish / VNIRO; comp. V.P. Bykov [et al.]; edited by V.P. Bykov. – M.: VNIRO. 1998. – 223 p.
- 14 Kuranova L.K. Creation of analog products with specified properties imitating the scallop muscle / Kuranova L.K., Dubrovin S. Yu. / – "Fisheries", No. 1, 2010, pp. 88–90.
- 15 Development of a new type of structured fish product – Modern ecological, biological and chemical research, technology and technology of production: materials of the International scientific and practical conference, Murmansk, April 8, 2016: at 2 o'clock: part 2 / Feder. state budgetary education. institution of higher Prof. education "Murm. state. tech. un-t". – Murmansk: MSTU Publishing House, 2016 – pp. 53–58.
- 16 Kim G.N. Sensory analysis of products from hydrobionts. M.: Kolos, 2008. 493 p.
- 17 Slutskaya T.N. et al. Preparation of dried, dried and smoked molded products from minced fish. Fish. household. 1988. No. 3. pp. 83–84.
- 18 Progressive technological processes of fish and seafood processing: inter-university. collection of scientific tr. / Kaliningr. gos. tech. un-t; ed. by Yu. A. Fatykhov. – Kaliningrad: Publishing House of KSTU, 2002. – 108 p.
- 19 Unified fish mass for the production of molded products / V.D. Bogdanov, E.V. Yakush, L.P. Olkhovaya, L.D. Petrova // Ryb. prom-st. – 2005. – No. 2. – pp. 24–27.
- 20 Fatykhov, Yu. A. Extrusion technologies of food production / Yu. A. Fatykhov, L. Kanopka. – Vilnius: Technika, 2007. – 88 p.
- 21 Nutrient analysis of underutilized fish species for the production of protein food. Derkach S.R., Grokhovsky V.A., Kuranova L.K., and Volchenko V.I. Foods and Raw Materials, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 15–23.
- 22 Influence of gelatin additives on the rheological properties of a Fucus vesiculosus extract Nicolay G. Voron'ko, Svetlana R. Derkach, Yuliya V. Kuchina, Nina I. Sokolan, Lyudmila K. Kuranova, Ekaterina D. Obluchinskaya. Food Bioscience, 29 (2019), 1–8.
- 23 Rheological behavior of gelatin gels with anionic polysaccharide additives [Text] / A.A. Maklakova [et al.] // Izvestiya Kaliningrad State Technical University. 2012. No. 25. p. 9097. Bibliogr.: p. 97.
- 24 Nikolaev D.A. et al. Approval of the Food Checker device in the study of rheological properties of a structured fish product made using gelatin // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. 2016 No. 4. pp.139–144.
- 25 Reshetnikov M.T. Experiment planning and statistical data processing: textbook. help. Tomsk: Publishing House of Tomsk. state University of Control Systems and Radio Electronics, 2000. 231 p.

**Сведения об авторах**

**Светлана С. Дубровина** аспирант, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, ssdubrovina21@gmail.com  
 <https://orcid.org/0000-0003-0515-1513>

**Владимир А. Гроховский** д.т.н., кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, v.grokhosky@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-1892-0257>

**Сергей Ю. Дубровин** к.т.н., профессор, кафедра технологий пищевых производств, Мурманский государственный технический университет, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, dubrovinsyu@mstu.edu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-4049-2807>


**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**

**Svetlana S. Dubrovina** Graduate student, , Department of Food Production Technology, Murmansk State Technical University, str. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia, ssdubrovina21@gmail.com  
 <https://orcid.org/0000-0003-0515-1513>

**Vladimir A. Grohovskiy** Dr. Sci. (Engin.), Professor, Department of Food Production Technology, Murmansk State Technical University, str. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia, v.grokhosky@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-1892-0257>

**Sergey Y. Dubrovin** Cand. Sci. (Engin.), Professor, Department of Food Production Technology, Murmansk State Technical University, str. Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010, Russia, dubrovinsyu@mstu.edu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-4049-2807>

**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> 20/06/2022	<b>После редакции</b> 12/07/2022	<b>Принята в печать</b> 22/07/2022
<b>Received</b> 20/06/2022	<b>Accepted in revised</b> 12/07/2022	<b>Accepted</b> 22/07/2022

## Современные технологии производства альтернативного молока из растительных продуктов





Дарья И. Шишкина	<sup>1</sup>	<a href="mailto:shishkina.di@rea.ru">shishkina.di@rea.ru</a>	 0000-0002-0620-8465
Александра И. Штовхун	<sup>1</sup>	<a href="mailto:shtovhun.ai@rea.ru">shtovhun.ai@rea.ru</a>	 0000-0002-8039-0349
Евгения Э. Клейн	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kleyn.ee@rea.ru">kleyn.ee@rea.ru</a>	 0000-0003-0322-036X
Лидия В. Беркетова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:berketova.lv@rea.ru">berketova.lv@rea.ru</a>	 0000-0002-1798-6131

<sup>1</sup> Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер. 36, г. Москва, 117997, Россия

**Аннотация.** В современном мире польза молока животного происхождения ставится под сомнение в связи с распространением среди населения непереносимости лактозы и пищевой аллергии на молочные белки, а также из-за популяризации таких систем питания, как вегетарианство и веганство. В связи с этим на рынке растёт спрос на растительные аналоги коровьего молока, которые изготавливаются из зерновых и бобовых культур, орехов и семян. В данной статье произведён обзор существующих на данный момент традиционных технологий создания заменителей молока на растительной основе, которые используются в массовом коммерческом производстве. Описаны основные этапы технологического сырья. Приводятся некоторые параметры обработки продуктов растительного происхождения при использовании их процесса производства растительных аналогов молока с учетом различий при использовании определенных видов для получения альтернативных молоку напитков. Отмечены преимущества и степень эффективности различных вариантов термической и нетермической обработки. Также рассмотрены инновационные способы улучшения качества растительных аналогов молока, показавшие эффективность применения в лабораторных условиях. Совершенствование и модернизация технологий производства растительных заменителей молока позволяют сохранять в напитках больше питательных веществ, улучшать их сбалансированность и, как следствие, увеличивать пользу для организма человека. От уровня прогрессивности технологий зависит то, в какой степени аналог может заменить традиционное коровье молоко, что очень важно для потребителей, включающих такие аналоги в свой рацион. Дальнейшие исследования в данном направлении позволят не только расширить ассортимент полезных пищевых продуктов на рынке, но также способствуют повышению продовольственной безопасности городов и стран за счет большей доступности для населения качественных источников питательных веществ.

**Ключевые слова:** растительное молоко, омический нагрев, современные технологии, ультразвук, ультрафиолет.

## Modern technologies for the production of alternative milk from plant products

Daria I. Shishkina	<sup>1</sup>	<a href="mailto:shishkina.di@rea.ru">shishkina.di@rea.ru</a>	 0000-0002-0620-8465
Alexandra I. Shtovhun	<sup>1</sup>	<a href="mailto:shtovhun.ai@rea.ru">shtovhun.ai@rea.ru</a>	 0000-0002-8039-0349
Eugenia E. Klein	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kleyn.ee@rea.ru">kleyn.ee@rea.ru</a>	 0000-0003-0322-036X
Lydia V. Berketova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:berketova.lv@rea.ru">berketova.lv@rea.ru</a>	 0000-0002-1798-6131

<sup>1</sup> Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia

**Abstract.** In the modern world, the benefits of animal milk are questioned due to the spread of lactose intolerance and food allergy to milk proteins among the population, as well as due to the popularization of such nutrition systems as vegetarianism and veganism. In this regard, the market is growing demand for vegetable analogues of cow's milk, which are made from cereals and legumes, nuts and seeds. This article provides an overview of the currently existing traditional technologies for creating plant-based milk substitutes that are used in mass commercial production. The main stages of technological raw materials are described. Some parameters of processing of products of plant origin are given when using their production process of plant analogues of milk, taking into account the differences when using certain types to obtain alternative milk drinks. The advantages and the degree of efficiency of various variants of thermal and non-thermal treatment are noted. Innovative ways of improving the quality of vegetable milk analogues, which have shown the effectiveness of their use in laboratory conditions, are also considered. The improvement and modernization of technologies for the production of vegetable milk substitutes make it possible to preserve more nutrients in drinks, improve their balance and, as a result, increase the benefits for the human body. The degree to which an analogue can replace traditional cow's milk depends on the level of technology progressiveness, which is very important for consumers who include such analogues in their diet. Further research in this direction will not only expand the range of healthy food products on the market, but will also contribute to improving the food security of cities and countries due to greater accessibility to the population of high-quality sources of nutrients.

**Keywords:** vegetable milk, ohmic heating, modern technologies, ultrasound, ultraviolet.

Для цитирования

Шишкина Д.И., Штовхун А.И., Клейн Е.Э., Беркетова Л.В. Современные технологии производства альтернативного молока из растительных продуктов // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 141–148. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-141-148

For citation

Shishkina D.I., Shtovhun A.I., Klein E.E., Berketova L.V. Modern technologies for the production of alternative milk from plant products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 141–148. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-141-148



## Введение

На протяжении последних лет популярность растительных аналогов молока среди потребителей стабильно растёт, в связи с чем увеличивается и предложение на рынке: расширяется ассортимент используемого сырья, разрабатываются новые технологии производства, совершенствуются существующие методы переработки растительных продуктов для лучшего сохранения макро- и микронутриентов и повышения их усвояемости.

Потребители делают выбор в пользу растительного молока по целому ряду причин, в том числе из-за стремления к ведению здорового образа жизни, в целях защиты окружающей среды и из неприятия жестокого обращения с животными.

Растительные аналоги молока широко используются пищевой промышленностью при производстве продуктов питания для людей, придерживающихся веганской системы питания. Данная система питания полностью исключает продукты, в состав которых входит сырьё животного происхождения вне зависимости от количества этого сырья. Согласно проводимым в России опросам, 6% респондентов придерживаются веганской диеты и ещё около 12% опрошенных заинтересованы в том, чтобы начать следовать данному типу питания, в основном с целью улучшения здоровья организма [6]. Как и в случае с коровьим и козьим молоком, заменители на растительной основе являются ингредиентами для йогуртов, сыра, кисломолочных продуктов и десертов. Можно сказать, что практически все виды молочной продукции на сегодняшний день представлены в альтернативных вариантах, сделанные на растительной основе.

Помимо людей, которые добровольно отказываются от употребления молока животного происхождения, растительные аналоги молока необходимы тем потребителям, которые страдают от непереносимости содержащейся в животном молоке лактозы или от аллергии на белки молока. Непереносимость лактозы связана с недостатком фермента лактазы, который необходим для расщепления лактозы до  $\beta$ -D-галактозы и  $\beta$ -D-глюкозы. Симптоматика лактозной непереносимости включает проблемы с желудочно-кишечным трактом, в том числе вздутие живота, повышенное газообразование, диарею и тошноту. В России около 15–20% населения в большей или меньшей степени страдают от непереносимости лактозы, при этом в северных районах страны этот показатель достигает 35% [8].

Другими аргументами в пользу выбора заменителей молока с точки зрения здоровья являются риски развития сердечно-сосудистых заболеваний и повышение уровня холестерина при потреблении продуктов животного происхождения. Эксперименты показали, что суточное потребление молока в количестве двух и более стаканов связано с развитием болезни Паркинсона, что обусловлено превышением дневной нормы D-галактозы (100 мг/кг) [25]. Злаки, бобовые, семена и орехи, из которых производится растительные заменители молока, содержат пищевые волокна, витамины, минералы и антиоксиданты. Эти продукты обладают функциональными свойствами, их потребление снижает риск развития болезни Альцгеймера и некоторых других заболеваний, поражающих мозг человека.

Однако заменители молока на растительной основе также оказывают негативное влияние на здоровье человека. В них зачастую содержится недостаточное количество белка, а также присутствуют вещества, снижающие биодоступность витаминов и минералов. Растительные аналоги молока могут оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье полости рта, что связано с добавлением сахара для улучшения вкуса продукта и повышения его привлекательности для потребителей.

В этой статье представлен всесторонний обзор существующих на данный момент методов производства заменителей молока на растительной основе, технологий улучшения их химического состава и повышения усвояемости содержащихся в них питательных веществ.

## Технологии производства растительного молока

Существует несколько способов производства заменителей молока из злаков, бобовых и орехов. Общими этапами производства всех альтернативных видов молока являются мокрое измельчение, фильтрация, внесение дополнительных ингредиентов, стерилизация, гомогенизация, упаковка и хранение в холодильнике [5]. Для повышения стабильности получаемого продукта добавляются камеди, а соль и подсластители используются для улучшения сенсорных свойств. Далее подробно будут рассмотрены отдельные этапы, применимые в случае конкретных видов растительных заменителей молока.

Для молочных заменителей из сои, кокоса, арахиса, грецкого ореха, кешью, миндаля и фундука растительное сырьё может поставляться в очищенном или не очищенном виде. Если продукт не отделён от скорлупы, то первым этапом является вымачивание в растворах различных веществ.

Очистка с использованием кислоты или щелочи применяется к кунжуту, грецким орехам, тигровым орехам и бразильским орехам. Вместо кислот и щелочей можно также использовать воду, но в этом случае время процесса увеличивается. Например, очищение грецких орехов и миндаля от скорлупы путем замачивания в воде должно проводиться в течение 18–20 часов, а при использовании 2%-ной лимонной кислоты при температуре 90 °С орехи можно очистить от скорлупы за две-три минуты [3]. Тигровые орехи можно очистить от кожуры путем замачивания в лимонной кислоте в течение 24 ч. Щелочные растворы, такие как 1%-ный и 2%-ный гидроксид натрия (NaOH), также используются для очистки грецких и бразильских орехов, однако после обработки продукт необходимо промыть нейтрализующим раствором, чтобы удалить остатки кислоты или щелочи. При производстве заменителей молока из грецких орехов после 10-минутной обработки 1%-ным NaOH при температуре 90 °С орехи промывают до достижения pH = 7,2 [7]. Кислотная и щелочная очистка позволяет избавиться от токсичных соединений, содержащихся в оболочке орехов, и таким образом преодолеть проблему горечи в конечном продукте.

Получаемое после очистки сырьё подвергается высушиванию, после чего осуществляется процесс обжарки или сухого измельчения. Обжарка повышает стабильность эмульсии и растворимость белкового изолята. Также данный вид термической обработки применяется для снижения концентрации бензальдегида и пиразина и получения нейтрального вкуса при производстве миндального заменителя молока [2]. При производстве кунжутного аналога молока процесс обжарки снижает кислотность, а также предотвращает появление горечи

и мелового привкуса. Сухое измельчение, как правило, не применяется, однако оно может представлять собой альтернативу мокрому измельчению, и существует пример использования данного процесса при производстве молока из миндаля [20].

К некоторым видам растительного сырья, например, к крупам, сое, миндалю и фундуку целесообразно применять замачивание в воде. Этот процесс позволяет ускорить последующую обработку за счёт того, что впитывающие воду зёрна, бобы и орехи набухают и размягчаются [23].

После замачивания в воде осуществляется ошпаривание или бланширование – варка в небольшом количестве жидкости. Основная цель данного процесса – инактивировать ферменты и уменьшить количество патогенных микроорганизмов. В некоторых случаях бланширование позволяет улучшить органолептические качества конечного продукта. Например, инактивация липоксигеназы в соевом молоке позволяет устранить бобовый привкус [11]. Альтернативой процессу бланширования является обработка паром, которая позволяет сохранить больше питательных веществ и, в частности, белка, который при термической обработке в воде переходит в отвар.

Как было сказано ранее, мокрое измельчение является основным этапом производства растительных заменителей молока и применяется практически для всех видов сырья. Злаки, орехи или бобовые вместе с водой измельчаются в блендере. На получаемый в результате этого процесса продукт оказывают влияние такие факторы, как количество добавляемой воды, температура, pH, скорость измельчения [30]. В таблице 1 приведены условия мокрого измельчения для получения различных видов заменителей молока.

Таблица 1.

Условия влажного измельчения некоторых видов растительного сырья при производстве заменителей молока

Table 1.

Conditions of wet grinding of some types of vegetable raw materials in the production of milk substitutes

Вид сырья Raw materials	Условия обработки   Processing conditions		
	Соотношение с водой Water ratio	Время, мин Time, min	Скорость об/мин Speed, rpm
Кунжут   Sesame	1:5	20	20 000
Арахис   Peanut	1:9	8	18 000
Фундук   Hazelnut	1:6	10	10 000
Соевые бобы   Soybean	1:25	20	10 000
Тигровый орех   Tigernut	1:4	20	13 000
Миндаль   Almond	1:9	2	18 000
Грецкий орех   Walnut	1:4,5	5	20 000
Кешью   Cashew	1:3	10	10 000

Чтобы отделить жидкую часть молочного аналога от твёрдых остатков пищевых волокон, применяется процесс фильтрации. В качестве фильтрующих материалов может использоваться марлевая ткань, хлопковая ткань толщиной 25 мкм или полупроницаемая фильтровальная бумага [16].

Для улучшения физико-химических и органолептических показателей растительных аналогов молока в них вносят различные дополнительные ингредиенты, помимо основного сырья. Аскорбиновая кислота добавляется к ингредиентам для предотвращения окисления. Добавление ксантановой камеди в количестве 0,05 г./100 мл перед термической обработкой сгущает заменители молока из орехов и повышает коллоидную стабильность конечного продукта [14]. Также ксантановая камедь (0,33% по массе) используется в рисовых альтернативах молока для ингибирования осаждения частиц [23]. Чтобы предотвратить клейстеризацию крахмала во время термической обработки можно добавлять 0,05% фермента  $\alpha$ -амилазы, который гидролизует гранулы крахмала [12]. Для улучшения вкуса растительных аналогов молока в них добавляются сахарный тростник, морская соль, ваниль, какао и различные сиропы [19].

Помимо сенсорных характеристик производимого продукта, важным критерием для потенциальных потребителей является химический состав, в том числе содержание белка, витаминов и минералов. В связи с этим, необходимо в процессе производства обеспечивать сбалансированный состав растительных аналогов молока. Это достигается, например, путём смешивания нескольких видов сырья. Также возможным решением является разработка продуктов из растительного сырья с наибольшим содержанием белка, например, из нута, чечевицы или гороха [17]. Дополнительно в растительные аналоги молока вносятся кальций и витамины А, В2, В1, В12, D2 и Е.

Следующим этапом, особенно важным в условиях массового производства, является пастеризация или стерилизация. Обработка продукта при высоких температурах позволяет с одной стороны, пролонгировать сроки хранения, а с другой – обеспечить поддержание высокого качества на протяжении всего времени нахождения продукта на полках магазинов.

Чтобы заменитель молока на растительной основе был однородным и напоминал коровье молоко по консистенции, применяется процесс гомогенизации под давлением. От этого

этапа производства зависит коллоидная стабильность получаемого напитка, поэтому очень важно подобрать нужный режим. Исследования показывают, что чем больше давление в процессе, тем более устойчивым к расслоению будет продукт и тем привлекательней будет его внешний вид, включая цвет и прозрачность. [15].

Несмотря на то, что традиционные технологии производства растительных аналогов молока поставлены на поток и широко применяются в пищевой промышленности, многие учёные активно занимаются разработкой инновационных способов приготовления данного продукта. Основными направлениями проведения экспериментов являются технологии, связанные с ультрафиолетовым излучением, воздействием ультразвука, омическим нагревом, использованием импульсного электрического поля и высокого давления.

Ультразвук продемонстрировал свою эффективность в повышении физической стабильности миндального заменителя молока при воздействии в течение 5 мин мощностью 300 Вт, кокосового заменителя молока при воздействии в течение 13 мин интенсивностью 55 Вт/см<sup>2</sup> и арахисового заменителя молока при воздействии в течение 3 мин мощностью 400 Вт [18]. Это обусловлено тем, что под воздействием ультразвука происходит разрушение клеток и уменьшение размера частиц, что способствует новым взаимодействиям между частицами и позволяет увеличить стабильность продукта и изменить его реологические свойства. Реологические свойства могут изменяться временно или постоянно, в зависимости от применяемой энергии ультразвука, времени обработки и температуры [13].

Ультразвук может положительно повлиять на питательные и биологически активные свойства растительных заменителей молока. Например, при проведении эксперимента по воздействию на соевое молоко в течение 16 мин. ультразвуком мощностью 400 Вт и частотой 25 кГц, было зафиксировано повышение усвояемости белка на 7,4% за счёт снижения содержания ингибитора трипсина на 52% [28].

Современная технология импульсного электрического поля основана на прямом воздействии силовых импульсов на пищевые продукты, помещённые между двумя электродами, в течение от микро – до наносекунды с интенсивностью 10–80 кВ/см [27]. Время обработки импульсным электрическим полем может быть рассчитано путем умножения эффективной

длительности импульса на количество импульсов. Величина и время импульсного электрического поля контролируются генератором напряжения и геометрией электрода. Данная технология является экологичной и используется в пищевой промышленности для инактивации ферментов и микроорганизмов. В ходе экспериментов по оценке влияния импульсного электрического поля на миндальный заменитель молока было отмечено уменьшение размера частиц, оказавшее положительное влияние на физическую стабильность продукта [22]. Также исследования демонстрируют увеличение срока хранения миндального молока, обработанного импульсным электрическим полем интенсивностью 28 кВ/см, за счёт инактивации липоксигеназы и пероксидазы на 50% и 45% соответственно [21].

Омический нагрев – это новая нетрадиционная термическая технология, применяемая при переработке упакованных и неупакованных напитков на растительной основе. В этом процессе на пищевую матрицу подается электрический ток частотой от 50 до 60 Гц, который выделяет тепловую энергию из-за электрического сопротивления. Электрическая энергия, подаваемая на систему, проходит через резистивную среду, способствуя реорганизации ионов и увеличивая степень перемешивания молекул, в результате чего происходит выделение тепла [29]. Такая термическая обработка эффективна для ферментативной инактивации. Омический нагрев воздействует на активные центры ферментов, удаляя металлические простетические группы из металлоэнзимов, таким образом, денатурируя ферменты. Омический нагрев также снижает патогенную микробную нагрузку в результате разрыва клеточных мембран микроорганизмов под воздействием тепла [9].

Ультрафиолетовое излучение также является нетрадиционным методом обработки напитков на растительной основе. Эта технология основана на бактерицидном эффекте, вызванном ультрафиолетовым излучением. Ультрафиолетовое излучение (от 250 до 260 нм) способствует разрушению или мутации дезоксирибонуклеиновой кислоты микроорганизмов, изменяя их морфологическую структуру и функцию размножения [24]. В исследованиях потенциальное бактерицидное действие ультрафиолетового излучения оценивалось по инактивации *Salmonella Enteritidis* в соевом заменителе молока. Излучение длиной волны 253,7 нм воздействовало на напиток при

температурах от 4 до 30 °С, при дозах облучения от 0 до 10 Дж/см<sup>2</sup> в течение различных периодов времени – от 0 до 48 мин. Наибольшей микробиологической инактивации ( $5,40 \pm 0,17 \log$  КОЕ/мл) соответствовала обработка при 18 °С [24]. Обработка ультрафиолетовым излучением ведёт к минимальным изменениям сенсорных или питательных свойств продуктов. При такой обработке низкая температура не способствует разложению термочувствительных соединений, присутствующих в пище, сохраняя полезные свойства продуктов.

Обработка под высоким давлением – это современная нетепловая технология, предполагающая использование значения давления от 100 до 1000 МПа. Обработка под высоким давлением имеет ряд преимуществ по сравнению с обычной пастеризацией. Главное преимущество связано с минимальным воздействием этой технологии на сенсорные и питательные характеристики продукта. Обработка под высоким давлением не разрушает ковалентные связи белков, витаминов, антиоксидантов и летучих соединений продуктов. Кроме того, такая обработка снижает патогенную микробную нагрузку, инактивирует эндогенные ферменты, улучшает реологические свойства продуктов [26]. Обработка под высоким давлением также оказывает различное физическое воздействие на частицы обработанных жидкостей. Явления кавитации, турбулентности и сдвига, вызванные такой обработкой, способствуют уменьшению размера частиц, что обеспечивает большую физическую стабильность продукта. Например, аналог молока на основе сои, обработанный при 172 МПа и 85 °С в течение 30 минут, в ходе эксперимента демонстрировал значительную устойчивость к разделению фаз [10].

Выбор того или иного метода зависит от его эффективности в отношении поддержания коллоидной стабильности растительного заменителя молока. Также целесообразно использовать те методы, которые позволяют свести к минимуму потребность в химических добавках, таких как гидроколлоиды и эмульгаторы, которые традиционно используются в качестве стабилизаторов. В основном, в экспериментах с новыми технологиями делается упор на возможности ингибирования ферментов, снижения активности микроорганизмов и уменьшения размеров частиц в напитках. Интерес для дальнейшего изучения представляют возможности сочетания нескольких методов

обработки продукта с целью достижения наибольшей эффективности в обеспечении высоких физико-химических и органолептических качеств.

### Заключение

Проблема совершенствования технологий производства аналогов молока на растительной основе остаётся актуальной в связи с потребностью улучшать химический состав продуктов-заменителей, их физико-химические и органолептические качества. Применение тех или иных традиционных методов обработки зависит от выбора сырья и может включать или не включать такие этапы, как кислотно-щелочная обработка, вымачивание в воде, сушка, обжарка и бланширование.

Также для улучшения свойств конечного продукта в процессе производства могут применяться инновационные термические и нетермические способы воздействия на продукт. Описанные в данной статье технологии в лабораторных условиях позволили безопасно улучшить реологические свойства различных видов растительных заменителей молока, повысили их физическую стабильность и снизили количество веществ, препятствующих усвоению макро- и микронутриентов из растительного молока. Дальнейшие исследования в данном направлении могут включать эксперименты с более широким спектром продуктов, в том числе нутovým, гречневым, овсяным и другими видами растительных аналогов молока.

### Литература

- 1 Богданова Н.М. Лактазная недостаточность и непереносимость лактозы: основные факторы развития и принципы диетотерапии // Медицина: теория и практика. 2020. № 1. С. 62–70.
- 2 Борисова А.В., Макарова Н.В., Хамтова Э.Х. Сравнительная характеристика содержания фенольных веществ и антиоксидантной активности некоторых видов употребляемых в пищу орехов // Химия растительного сырья. 2022. № 2. С. 95–104.
- 3 Жебо А.В., Уварова Н.Г. Оценка качества орехового сырья для производства напитков // Вестник Хабаровского государственного университета экономики и права. 2020. № 3 (104). С. 153–159.
- 4 Лаврова Л.Ю. Разработка технологии и рецептур биопродуктов на основе растительного молока // Foodindustry. 2019. № 2. С. 43–50.
- 5 Меренкова С.П., Андросова Н.В. Актуальные аспекты производства напитков на растительном сырье // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2018. № 3. С. 57–67.
- 6 Питкин В.А., Холодная Л.А. Сравнительная характеристика социального одобрения феномена вегетарианства в России и Великобритании // Вестник ВГУИТ. 2020. № 3 (85). С. 110–116.
- 7 Султанова М.Ж., Абдрахманов Х.А., Акжанов Н., Экстракция околоплодника грецкого ореха и характеристика их фенольных соединений // Известия НВ АУК. 2022. № 3 (67). С. 233–242.
- 8 Ястребова Д.П., Платонова А.А. Молоко для взрослых: вред или польза // FORCIPE. 2019. С. 575–576.
- 9 Atuonwu J.C., Leadley C., Bosman A., Tassou S.A. High-pressure processing, microwave, ohmic, and conventional thermal pasteurization: quality aspects and energy economics // J. Food Process Eng. 2020. Vol. 43.
- 10 Aydar E.F., Tutuncu S., Ozelik B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects // J. Funct. Foods. 2020. Vol. 70. Article 103975.
- 11 Bolarinwa I.F., Aruna T.E., Adejuyitan J.A. Development and quality evaluation of soy-walnut milk drinks // International Food Research Journal. 2018. Vol. 25. Pp. 2033–2041.
- 12 Codina-Torrella I. и др. Microbiological stabilization of tiger nuts' milk beverage using ultra-high-pressure homogenization. A preliminary study on microbial shelf-life extension // Food Microbiology. 2018. Vol. 69. Pp. 143–150.
- 13 Cui R., Zhu F. Ultrasound modified polysaccharides: a review of structure, physicochemical properties, biological activities and food applications // Trends Food Sci Technol. 2021. Vol. 107. Pp. 491–508.
- 14 Ermiş E., Güneş R., Zent I. Characterization of hazelnut milk fermented by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* // Gıda. 2018. Vol. 43. Pp. 677–686.
- 15 Gul O., Atalar I., Saricaoglu F.T., Yazici F. Effect of multi-pass high pressure homogenization on physicochemical properties of hazelnut milk from hazelnut cake: An investigation by response surface methodology // Journal of Food Processing and Preservation. 2018. Pp. 1–11.
- 16 Ilyasoglu H., Yilmaz F. Preliminary investigation of yoghurt enriched with hazelnut milk // International Food Research Journal. 2019. Vol. 26. Pp. 631–637.
- 17 Jeske S., Bez J., Arendt E.K., Zannini E. Formation, stability, and sensory characteristics of a lentil-based milk substitute as affected by homogenization and pasteurization // European Food Research and Technology. 2019. Vol. 245. Pp. 1519–1531.
- 18 Lu X., Chen J., Zheng M. Effect of high-intensity ultrasound irradiation on the stability and structural features of coconut-grain milk composite systems utilizing maize kernels and starch with different amylose contents // Ultrason Sonochem. 2019. Vol. 55. Pp. 135–148.
- 19 Makinde M.F., Adebile V.T. Influence of processing treatments on quality of vegetable milk from almond (*Terminalia catappa*) kernels // Acta Scientific Nutritional Health. 2018. Vol. 2. Pp. 37–42.

- 20 Makinen O.E., Wanhalinna V., Zannini E., Arendt E.K. Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products // Critical reviews in food science and nutrition. 2016. Vol. 56. Pp. 339–349.
- 21 Nazir A. и др. Effect of pulsed electric field and thermal treatments on the bioactive compounds, enzymes, microbial, and physical stability of almond milk during storage // Journal of Food Processing and Preservation. 2020. Vol. 44
- 22 Nazir A., Zahoor A., Abdur R. Impact of pulsed electric field on rheological, structural, and physicochemical properties of almond milk // The Journal of Food Process Engineering. 2019. Vol. 42.
- 23 Padma M., Jagannadharao P., Edukondalu L. Physico-chemical analysis of milk prepared from broken rice // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. Vol. 7. Pp. 426–428.
- 24 Possas A., Valero A., García-Gimeno R.M. Influence of temperature on the inactivation kinetics of Salmonella Enteritidis by the application of UV-C technology in soymilk // Food Control. 2018. Vol. 94. Pp. 132–139.
- 25 Rita S.A., B. Luciana B. Milk and Parkinson disease: Could galactose be the missing link? // Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism. 2019. Vol. 12. Pp. 91–118.
- 26 Szczepańska J., Barba F.J., Skapska S. High pressure processing of carrot juice: effect of static and multi-pulsed pressure on the polyphenolic profile, oxidoreductases activity and colour // Food Chem. 2020. Vol. 307. Article 125549.
- 27 Taha A., Casanova F., Šimonis P. Pulsed Electric Field: Fundamentals and Effects on the Structural and Techno-Functional Properties of Dairy and Plant Proteins // Foods. 2022. Vol. 11.
- 28 Vanga S.K., Wang J., Raghavan V. Effect of ultrasound and microwave processing on the structure, in-vitro digestibility and trypsin inhibitor activity of soymilk proteins // LWT. 2020. Vol. 131. Article 109708.
- 29 Wattanayon W., Udombijitkul P., Kamonpatana P. Ohmic heating of a solid-liquid food mixture in an electrically conductive package // J. Food Eng. 2021. Vol. 289.
- 30 Zaaboul F., Raza H., Cao C. The impact of roasting, high pressure homogenization and sterilization on peanut milk and its oil bodies // Food Chemistry. 2019. Vol. 280. Pp. 270–277.

### References


- 1 Bogdanova N.M. Lactase deficiency and lactose intolerance: the main factors of development and principles of diet therapy // Medicine: theory and practice. 2020. No. 1. pp. 62–70.
- 2 Borisova A.V., Makarova N.V., Khamtova E.H. Comparative characteristics of the content of phenolic substances and antioxidant activity of some types of nuts consumed in food // Chemistry of vegetable raw materials. 2022. No.2. pp. 95–104.
- 3 Zhebo A.V., Uvarova N.G. Evaluation of the quality of nut raw materials for the production of beverages // Bulletin of the Khabarovsk State University of Economics and Law. 2020. No.3 (104). pp. 153–159.
- 4 Lavrova L. Yu. Development of technology and formulations of bio-products based on vegetable milk // Food industry. 2019. No.2. pp. 43–50.
- 5 Merenkova S.P., Androsova N.V. Actual aspects of beverage production on vegetable raw materials // Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2018. No.3. pp. 57–67.
- 6 Pitkin V.A., Kholodnaya L.A. Comparative characteristics of social approval of the phenomenon of vegetarianism in Russia and Great Britain // Vestnik VSUIT. 2020. No. 3 (85). pp. 110–116.
- 7 Sultanova M. Zh., Abdrakhmanov H.A., Akzhanov N., Walnut pericarp extraction and characterization of their phenolic compounds // Izvestiya NV AUK. 2022. No.3 (67). pp. 233–242.
- 8 Yastrebova D.P., Platonova A.A. Milk for adults: harm or benefit // FORCIPE. 2019. pp. 575–576.
- 9 Atuonwu J.C., Leadley C., Bosman A., Tassou S.A. High-pressure processing, microwave, ohmic, and conventional thermal pasteurization: quality aspects and energy economics // J. Food Process Eng. 2020. Vol. 43.
- 10 Aydar E.F., Tutuncu S., Ozcelik B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects // J. Funct. Foods. 2020. Vol. 70. Article 103975.
- 11 Bolarinwa I.F., Aruna T.E., Adejuyitan J.A. Development and quality evaluation of soy-walnut milk drinks // International Food Research Journal. 2018. Vol. 25. Pp. 2033–2041.
- 12 Codina-Torrella I. et al. Microbiological stabilization of tiger nuts' milk beverage using ultra-high-pressure homogenization. A preliminary study on microbial shelf-life extension // Food Microbiology. 2018. Vol. 69. Pp. 143–150.
- 13 Cui R., Zhu F. Ultrasound modified polysaccharides: a review of structure, physicochemical properties, biological activities and food applications // Trends Food Sci Technol. 2021. Vol. 107. Pp. 491–508.
- 14 Ermiş E., Güneş R., Zent I. Characterization of hazelnut milk fermented by Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus and Streptococcus thermophiles // Gıda. 2018. Vol. 43. Pp. 677–686.
- 15 Gul O. et al. Effect of multi-pass high pressure homogenization on physicochemical properties of hazelnut milk from hazelnut cake: An investigation by response surface methodology // Journal of Food Processing and Preservation. 2018. Pp. 1–11.
- 16 Ilyasoglu H., Yilmaz F. Preliminary investigation of yoghurt enriched with hazelnut milk // International Food Research Journal. 2019. Vol. 26. Pp. 631–637.
- 17 Jeske S., Bez J., Arendt E.K., Zannini E. Formation, stability, and sensory characteristics of a lentil-based milk substitute as affected by homogenization and pasteurization // European Food Research and Technology. 2019. Vol. 245. Pp. 1519–1531.
- 18 Lu X., Chen J., Zheng M. Effect of high-intensity ultrasound irradiation on the stability and structural features of coconut-grain milk composite systems utilizing maize kernels and starch with different amylose contents // Ultrason Sonochem. 2019. Vol. 55. Pp. 135–148.
- 19 Makinde M.F., Adebile V.T. Influence of processing treatments on quality of vegetable milk from almond (Terminalia catappa) kernels // Acta Scientific Nutritional Health. 2018. Vol 2. Pp. 37–42.




- 20 Makinen O.E., Wanhalinna V., Zannini E., Arendt E.K. Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2016. Vol. 56. Pp. 339–349.
- 21 Nazir A. et al. Effect of pulsed electric field and thermal treatments on the bioactive compounds, enzymes, microbial, and physical stability of almond milk during storage // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020. Vol. 44.
- 22 Nazir A., Zahoor A., Abdur R. Impact of pulsed electric field on rheological, structural, and physicochemical properties of almond milk // *The Journal of Food Process Engineering*. 2019. Vol. 42.
- 23 Padma M., Jagannadarao P., Edukondalu L. Physico-chemical analysis of milk prepared from broken rice // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018. Vol. 7. Pp. 426–428.
- 24 Possas A., Valero A., García-Gimeno R.M. Influence of temperature on the inactivation kinetics of *Salmonella* Enteritidis by the application of UV-C technology in soymilk // *Food Control*. 2018. Vol. 94. Pp. 132–139.
- 25 Rita S.A., B. Luciana B. Milk and Parkinson disease: Could galactose be the missing link? // *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*. 2019. Vol. 12. Pp. 91–118.
- 26 Szczepańska J., Barba F.J., Skapska S. High pressure processing of carrot juice: effect of static and multi-pulsed pressure on the polyphenolic profile, oxidoreductases activity and colour // *Food Chem*. 2020. Vol. 307. Article 125549.
- 27 Taha A., Casanova F., Šimonis P. Pulsed Electric Field: Fundamentals and Effects on the Structural and Techno-Functional Properties of Dairy and Plant Proteins // *Foods*. 2022. Vol. 11.
- 28 Vanga S.K., Wang J., Raghavan V. Effect of ultrasound and microwave processing on the structure, in-vitro digestibility and trypsin inhibitor activity of soymilk proteins // *LWT*. 2020. Vol. 131. Article 109708.
- 29 Wattanayon W., Udornpijitkul P., Kamonpatana P. Ohmic heating of a solid-liquid food mixture in an electrically conductive package // *J. Food Eng.* 2021. Vol. 289.
- 30 Zaaboul F., Raza H., Cao C. The impact of roasting, high pressure homogenization and sterilization on peanut milk and its oil bodies // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 280. Pp. 270–277.

**Сведения об авторах**

**Дарья И. Шишкина** старший преподаватель, кафедра ресторанного бизнеса, Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер. 36, г. Москва, 117997, Россия, shishkina.di@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0620-8465>


**Александра И. Штовхун** ассистент, кафедра ресторанного бизнеса, Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер. 36, г. Москва, 117997, Россия, shtovhun.ai@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8039-0349>

**Евгения Э. Клейн** студент, кафедра ресторанного бизнеса, Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер. 36, г. Москва, 117997, Россия, kleyn.ee@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0322-036X>

**Лидия В. Беркетова** к.т.н., доцент, кафедра ресторанного бизнеса, Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер. 36, г. Москва, 117997, Россия, berketova.lv@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1798-6131>

**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**


**Daria I. Shishkina** Senior lector, Restaurant business department, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia, shishkina.di@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0620-8465>


**Alexandra I. Shtovhun** Assistant, Restaurant business department, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia, shtovhun.ai@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8039-0349>

**Eugenia E. Klein** Student, Restaurant business department, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia, kleyn.ee@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0322-036X>

**Lydia V. Berketova** c.t.s, docent, Restaurant business department, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia, berketova.lv@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1798-6131>

**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> 25/10/2022	<b>После редакции</b> 10/11/2022	<b>Принята в печать</b> 18/11/2022
<b>Received</b> 25/10/2022	<b>Accepted in revised</b> 10/11/2022	<b>Accepted</b> 18/11/2022

## Исследование влияния хмеля на безопасность полупродуктов пивоваренного производства

Инна В. Новикова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:noviv@list.ru">noviv@list.ru</a>	 0000-0002-2360-5892
Владислав Н. Калаев	<sup>2</sup>	<a href="mailto:dr_huixs@mail.ru">dr_huixs@mail.ru</a>	 0000-0002-4247-4509
Александр С. Муравьев	<sup>1</sup>	<a href="mailto:hntrun@mail.ru">hntrun@mail.ru</a>	 0000-0002-4247-4509
Павел В. Рукавицын	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kaf-tbsp@vsuet.ru">kaf-tbsp@vsuet.ru</a>	
Оксана Ю. Мальцева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ksenia2002@list.ru">ksenia2002@list.ru</a>	
Иван Н. Криваносов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kaf-tbsp@vsuet.ru">kaf-tbsp@vsuet.ru</a>	



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

<sup>2</sup> Воронежский государственный университет, Университетская площадь, 1 г. Воронеж, 394018, Россия

**Аннотация.** С целью обеспечения контроля качества и безопасности пищевой продукции впервые были проведены исследования влияния хмеля *in vivo* на частоту aberrаций клеток с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии человека. Получены результаты исследования *in vivo* образцов суслу с целью выявления возможного отрицательного влияния хмеля, который вносит свой вклад в увеличение экстрактивных компонентов в готовом напитке при сухом охмелении и содержит большое количество биологически активных соединений (горькие и фенольные вещества, эфирные масла), на организм человека. Проведен анализ частот встречаемости аномалий ядра в клетках буккального эпителия у лиц, употребляющих охмеленные и неохмеленные образцы суслу, на частоту встречаемости клеточных нарушений в буккальном эпителии человека. Обнаружены следующие типы нарушений: клетки с микроядрами, двумя ядрами, насечками, перинуклеарными вакуолями, протрузиями типа «язык» и «разбитое яйцо», кариопикнозом, кариолизисом и кариорексисом. На основании полученных данных вычислены индексы репарации и накопления цитогенетических нарушений. Не выявлено влияние хмеля на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений. Методами факторного анализа показано, что основной вклад в дисперсию системы признаков будет вносить фактор «специфичность изучаемых цитогенетических показателей».

**Ключевые слова:** микроядерный тест, сусло, хмель, цитогенетические нарушения, безопасность пищевой продукции.

## Study of the influence of hops on the safety of brewing semi-products

Inna V. Novikova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:noviv@list.ru">noviv@list.ru</a>	 0000-0002-2360-5892
Vladislav N. Kalaev	<sup>2</sup>	<a href="mailto:dr_huixs@mail.ru">dr_huixs@mail.ru</a>	 0000-0002-4247-4509
Aleksandr S. Muravev	<sup>1</sup>	<a href="mailto:hntrun@mail.ru">hntrun@mail.ru</a>	 0000-0002-4247-4509
Pavel V. Rukavitsyn	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kaf-tbsp@vsuet.ru">kaf-tbsp@vsuet.ru</a>	
Oksana Y. Maltseva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ksenia2002@list.ru">ksenia2002@list.ru</a>	
Ivan N. Krivanosov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kaf-tbsp@vsuet.ru">kaf-tbsp@vsuet.ru</a>	

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

<sup>2</sup> Voronezh State University, University Square, 1, Voronezh, 394018, Russia

**Abstract.** In order to ensure quality control and food safety, the *in vivo* effect of hops on the frequency of cell aberrations was studied for the first time using a micronucleus test in human buccal epithelium. Results were obtained of *in vivo* studies of wort samples to identify possible negative effects of hops, which contribute to an increase in extractive components in the finished drink during dry hopping and contain a large number of biologically active compounds (bitter and phenolic substances, essential oils), on the human body. The frequency of nucleus abnormalities in human buccal epithelium cells of persons using hopped and unhopped must samples was analyzed for the frequency of cellular abnormalities in human buccal epithelium. The following types of disorders were found: cells with micronuclei, two nuclei, notches, perinuclear vacuoles, "tongue" and "broken egg" type protrusions, karyopyknosis, karyolysis and karyorexis. Based on the data obtained, indices of repair and accumulation of cytogenetic disorders were calculated. No effect of hops on the reparation index and the index of accumulation of cytogenetic disorders was revealed. Factor analysis methods show that the main contribution to the variance of the trait system will be made by the factor "specificity of the cytogenetic indices under study".

**Keywords:** micronucleus test, wort, hops, cytogenetic disorders, food safety.

### Для цитирования

Новикова И.В., Калаев В.Н., Муравьев А.С., Рукавицын П.В., Мальцева О.Ю., Криваносов И.Н. Исследование влияния хмеля на безопасность полупродуктов пивоваренного производства // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 149–156. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-149-156

### For citation

Novikova I.V., Kalaev V.N., Muravev A.S., Rukavitsyn P.V., Maltseva O.Y., Krivanosov I.N. Study of the influence of hops on the safety of brewing semi-products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 149–156. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-149-156

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

## Введение

Использование хмеля для приготовления напитков на основе зернового сырья или мёда связано главным образом с тем, что он придает готовой продукции специфический горький вкус и аромат. Горький вкус связан с содержанием растворимых в пиве изо- $\alpha$ -кислот, которые образуются из нерастворимых  $\alpha$ -кислот хмеля при кипячении сусла с хмелем. Источником аромата являются эфирные масла хмеля. Хмель участвует в коагуляции белков при кипячении сусла и обладает бактериостатическими свойствами [1–3].

Важным свойством хмеля является также то, что он способствует улучшению пенистых свойств напитков, а полифенолы хмеля предохраняют напиток от «старения вкуса», связанного с окислительными процессами [4].

С целью обеспечения контроля качества и безопасности пищевой продукции впервые были проведены исследования влияния хмеля *in vivo* на частоту аббераций клеток с помощью микроядерного теста в буккальном эпителии человека [5].

Клетки буккального эпителия исследовали на появление нарушений: клетки с микроядрами, двумя ядрами, насечками, перинуклеарными вакуолями, протрузиями типа «язык» и «разбитое яйцо», кариопикнозом, кариолизисом и кариорексисом.

Причины образования данных нарушений различны. Микроядра представляют собой ацентрические хромосомные фрагменты и отдельные целые хромосомы, потерянные во время митоза. Протрузии, подобно микроядрам, могут быть образованы фрагментами хромосом или отставшими при нарушении веретена деления целыми хромосомами, ядерная оболочка вокруг которых соединена с оболочкой основного ядра. Данное нарушение относят к признакам ранней деструкции ядра. Ядра с круговой насечкой имеют центральную или частично смещенную к одному из полюсов борозду, как бы перетягивающую ядро [6].

Двухядерная клетка – клетка с двумя отдельно лежащими ядрами. Для деления двухядерных клеток характерны нарушения митоза. Данные нарушения являются показателем нарушения пролиферации. Перинуклеарная вакуоль является «впячиванием» кариолеммы (ядерной оболочки) и образованием округлой зоны обесцвеченной цитоплазмы и кариоплазмы в окрашенных клетках, появляется в результате образования вакуоли в перинуклеарном пространстве [6].

Апоптоз – это основной механизм элиминации клеток с генетическими повреждениями. На ранних стадиях апоптоз проявляется как кариопикноз и кариорексис. Кариопикноз – дегенеративное изменение ядра, сопровождающееся уменьшением его размера не менее чем в 2 раза, уплотнением, гомогенным и интенсивным окрашиванием. Кариорексис – дегенеративное изменение ядра в клетке, сопровождающееся распадом его на отдельные интенсивно окрашенные части с гомогенной структурой, которые после лизиса кариолеммы попадают в цитоплазму и подвергаются рассасыванию. Кариолизис – дегенеративное изменение ядра в клетке, сопровождающееся потерей способности к окрашиванию хроматина с последующим полным его исчезновением. В свою очередь, кариолизис и вакуолизация ядра являются индикаторами исключительно токсического воздействия на клетку [6].

## Материалы и методы

Для оценки антимуtagenных (протекторных) свойств хмеля был использован микроядерный тест в буккальном эпителии человека. В качестве объектов исследования применяли образцы солодового сусла с различной степенью термической обработки в виде расфасованных в стерильную стеклянную тару напитков объемом 50 см<sup>3</sup> для одноразового приема в течение 10 дней.

Материалом для решения поставленных задач послужили результаты обследования 30 человек (три группы). В исследовании приняли участие условно здоровые добровольцы с состоянием здоровья без выраженных патологий, нарушений метаболических процессов в организме. Возраст мужчин-волонтеров составлял 18–19 лет.

Исследование проводили в 3 этапа. На первом этапе (начало исследования) осуществлялось взятие проб и первичная оценка исследуемых показателей, на втором этапе (10 суток) исследование осуществляли после систематического приема образцов, в тех же условиях. На третьем этапе (17 суток) пробы отбирали после семидневного прекращения приема образцов сусла. Все волонтеры подписали информированное добровольное согласие на проведение диагностических манипуляций в виде взятия мазков из ротовой полости в условиях медицинского пункта ФГБОУ ВО «ВГУИТ», а также на систематический прием образцов.

Проводили анкетирование добровольцев, критериями включения клинически здоровых лиц являлись: возраст, пол.

Критериями исключения клинически здоровых лиц являлись: наличие острых или хронических заболеваний. Анкеты и информированное добровольное согласие приведены в первичных материалах исследований.

Обработка результатов была проведена в лаборатории «Молекулярной генетики и клеточной биологии» кафедры генетики, цитологии и биоинженерии ФГБОУ ВО «ВГУ».

Исследуемые образцы выдавали добровольцам из первой и второй групп ежедневно в течение 10 дней. Первая группа испытуемых получала образцы неохмеленного сусла, вторая группа – образцы охмеленного сусла. Третья группа – контрольная, образцы не употребляла.

Для приготовления образцов подготовили сусло на основе дробленого светлого ячменного солода и подготовленной воды (гидромодуль затора 1:3,2). Применяли базовый светлый солод Пэйл Эль, экстрактивность солода составляла 82%, цвет 4.5 EBC, содержание белка 9.8%.

При кипячении сусла вносили гранулированный хмель Hallertaur Magnum (содержание  $\alpha$ -кислот 11%,  $\beta$ -кислот 5%, когумулону 21% от количества  $\alpha$ -кислот, эфирных масел 1,6 мг/100г сухих веществ хмеля). Расход хмеля рассчитывали для получения значения 23 IBU.

Хмель задавали на 10 минуте кипячения в количестве 1,9 г/дм<sup>3</sup> сусла. Сначала кипячение сусла проводили без внесения хмеля в течение 10 минут, отбирали не охмеленные образцы для тестирования первой группы испытуемых, задавали порцию хмеля, кипятили при температуре 100–105 °С в течение 70 минут, отбирали охмеленные образцы сусла для второй группы испытуемых.

Общая продолжительность кипячения сусла с хмелем составляла 90 мин, экстрактивность начального сусла – 11%; горечь – 23 IBU [7, 8].

Содержание сухих веществ в образцах определяли на приборе «Колос-1». pH определяли с помощью pH-метра Edge III 2002–02.

Относительные концентрации кислот хмеля и их производных (изо- $\alpha$ -кислоты,  $\alpha$ -кислоты) в исходном хмеле определяли с помощью метода ВЭЖХ [9, 10]. Соединения выделяли из хмеля следующим образом: образец хмеля в количестве 1 г подкисляли ортофосфорной кислотой (100 см<sup>3</sup>) и экстрагировали изоктаном (10 см<sup>3</sup>) в течение 30 мин. Экстракт переносили в стеклянную пробирку и выпаривали. К остатку после выпаривания добавляли ацетонитрил (2 см<sup>3</sup>) и анализировали методом ВЭЖХ в трех повторностях. Для кислот хмеля и их производных были получены градуировочные графики на основе стандартов в диапазоне 1, 5, 10, 20, 40, 60 мг/дм<sup>3</sup> [10, 11].

Для контроля содержания изо-альфа-кислот в сусле применяли Метод определения изогумулону в сусле, основанный на экстракции его из сусла изоктаном (2,2,4-триметилпентаном) и определении оптической плотности изоктанового экстракта на спектрофотометре при длине волны 275 нм [12].

Общее содержание полифенолов определяли спектрофотометрическим методом [13]. В колбе вместимостью 25 см<sup>3</sup> к образцу сусла (10 см<sup>3</sup>) приливали смесь карбоксиметилцеллюлозы (1%) и этилендиамина тетрауксусной кислоты (ЭДТА, 0,2%) (8 см<sup>3</sup>), затем добавляли цитрат аммония железа (3,5%, 0,5 см<sup>3</sup>), раствор гидроксида аммония (33,3%, 0,5 см<sup>3</sup>). Смесь доводили до метки деминерализованной водой и оставляли при комнатной температуре в течение 10 мин. Поглощение раствора

измеряли при длине волны 600 нм, умножали на коэффициент (820) для получения общего содержания полифенолов в сусле (мг/дм<sup>3</sup>). Анализ проводили в трех повторностях для каждого образца.

В образцах охмеленного сусла контролировали содержание изо-альфа-горьких кислот и альфа-горьких кислот. 1 см<sup>3</sup> сусла перемещали в центрифужную пробирку объемом 50 см<sup>3</sup>, затем проводили экстрагирование кислот хмеля 10 см<sup>3</sup> метанола. Образцы центрифугировали при 5000 об/мин в течение 5 мин, затем фильтрат анализировали методом ВЭЖХ [11].

Образцы сусла охлаждали после кипячения, разливали в стерильную стеклянную тару объемом 50 см<sup>3</sup>, укупоривали, хранили в защищенном от воздействия света месте при температуре 4–6 °С в закрытом виде, выдавали испытуемым ежедневно в одно и то же время.

Физико-химические показатели образцов сусла, выдаваемых испытуемым, представлены в таблице 1.

Таблица 1.  
Физико-химические показатели образцов сусла  
Table 1.  
Physico-chemical parameters of wort samples

Показатель	ед. изм.	Сусло без охмеления	Охмеленное сусло (Hallertaur Magnum)
экстрактивность начального сусла	% мас.	11,56	11,56
pH	ед. pH	5,4	5,2
величина горечи	IBU	–	23
изо- $\alpha$ -кислоты	мг/дм <sup>3</sup>	–	25,2
$\alpha$ -кислоты	мг/дм <sup>3</sup>	–	8,4
полифенолы (катехин, кверцетин)	мг/дм <sup>3</sup>	52	232
эфирные масла хмеля (линалоол, гераниол, мирцен $\beta$ -кариофиллен)	мкг/дм <sup>3</sup>	–	90,2
диметилсульфид	мкг/дм <sup>3</sup>	230	–

Сбор материала и изготовление препаратов буккального эпителия осуществляли по методике [5] без употребления препарата (1 проба); через 10 дней, в течение которой испытуемые употребляли образцы солодового сусла (2 проба); и спустя неделю после окончания употребления (3 проба). Третья группа испытуемых являлась контрольной, сусло не употребляла.

### Результаты и обсуждение

На каждом препарате просматривали не менее 1000 клеток, среди которых определяли количество клеток с микроядрами, перинуклеарными вакуолями, насечками, протрузиями, двумя ядрами, кариопикнозом, кариолизисом, кариорексисом.

Двухфакторный дисперсионный анализ не показал влияние факторов охмеление и не охмеление сусла, а также фактора дня на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений.

Индекс репарации показывает динамику канцерогенеза. Данное значение статистически достоверно не повышается в сравнении с контролем как в группе лиц, которые употребляли неохмеленный образец, так и в группе лиц, которые употребляли охмеленный образец.

Наблюдаемые нарушения морфологии ядер у здоровых лиц можно связать со старением и естественной гибелью эпителиальных клеток ротовой полости [6].

Спустя неделю после прекращения употребления экстракта статистически достоверных изменений индекса репарации в сравнении с контролем у лиц, которые употребляли неохмеленный образец, и у лиц, употреблявших охмеленный образец, не отмечается. Индекс накопления цитогенетических нарушений используется для оценки цитогенетического статуса индивида. Данное значение статистически достоверно не повышается в сравнении с контролем как в группе лиц, которые употребляли охмеленный образец, так и у лиц, употреблявших неохмеленный образец.

Через неделю после прекращения употребления экстракта не происходит достоверных изменений индекса накопления как у лиц, употреблявших неохмеленное сусло, так и у лиц, которые употребляли охмеленное сусло.

Стоит отметить высокую изменчивость данного показателя (на что указывает высокие значения коэффициента вариации  $>> 25\%$ ) у обследованных лиц (таблица 2), что может свидетельствовать о значительной гетерогенности данного показателя и разных эффектах употребляемых напитков у людей, что требует дальнейшего изучения данного феномена и выяснения его генетической и физиологической основы.

Увеличение числа клеток с нарушениями не происходит: у испытуемых 3 группы, которые ничего не принимали.

У испытуемых 2 группы (принимали охмеленное сусло) наблюдается отчетливый положительный эффект от приема образцов на второй точке. Уровень клеток с цитогенетическими нарушениями (микроядрами и протрузиями) и показателями патологической пролиферации (насечками и двумя ядрами) снизился.

Хмель обладает протекторными свойствами для организма человека, способствуют

уменьшению образования клеток с генетическими нарушениями и избавлению организма от данных клеток.

Антимутагенные эффекты хмеля можно объяснить свойствами содержащихся в них изо-альфа горьких кислот и альфа-горьких кислот хмеля, полифенольных компонентов (в 4 раза больше, чем в не охмеленном), ароматических компонентов – эфирных масел хмеля, отсутствием диметилсульфида, удаляемого при кипячении [1].

У испытуемых 1 групп (принимали не охмеленное сусло) возможно появление отрицательного эффекта за счёт присутствия в сусле диметилсульфида – всегда присутствует в исходном солоде, а улетучивается как раз при кипячении сусла с хмелем (таблица 1).

Частоты встречаемости клеточных аномалий в клетках буккального эпителия у лиц, употреблявших охмеленное и неохмеленное сусло, а также в контрольной группе в течение двух недель исследования представлены в таблице 2, где RI – индекс репарации; Cv – коэффициент вариации; Iac – индекс накопления цитогенетических нарушений.

Для выявления схожести цитогенетических эффектов употребления образцов охмеленного и неохмеленного сусла нами был проведен кластерный анализ полученных результатов (рисунок 1, таблица 3).

Обозначения в таблице 3: K1 – контрольная группа (взятие пробы до употребления экстракта), K2 – контрольная группа (взятие пробы через неделю, в течение которой испытуемые употребляли экстракт), K3 – контрольная группа (взятие пробы спустя неделю после прекращения употребления экстракта), Bx1 – неохмеленная группа (взятие пробы до употребления неохмеленного сусла), Bx2 – неохмеленная группа (взятие пробы через неделю, в течение которой испытуемые употребляли неохмеленное сусло), Bx3 – неохмеленная группа (взятие пробы спустя неделю после прекращения употребления неохмеленного сусла), Oх1 – охмеленная группа (взятие пробы до употребления охмеленного сусла), Oх2 – охмеленная группа (взятие пробы через неделю, в течение которой испытуемые употребляли охмеленное сусло), Oх3 – охмеленная группа (взятие пробы спустя неделю после прекращения употребления охмеленного сусла).

Дендрограмма кластерных расстояний между сериями экспериментов, построенная на основании значений индекса репарации и индекса накопления цитогенетических нарушений (средние значения, медианы



и коэффициенты вариации) в клетках буккального эпителия обследованных лиц, употреблявших охмеленное и неохмеленное сусло, а также в контрольной группе, не показало четкого выделения кластеров, что подтверждает ранее

высказанную мысль о том, что образцы охмеленного и неохмеленного сусла не оказывают влияния на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений.

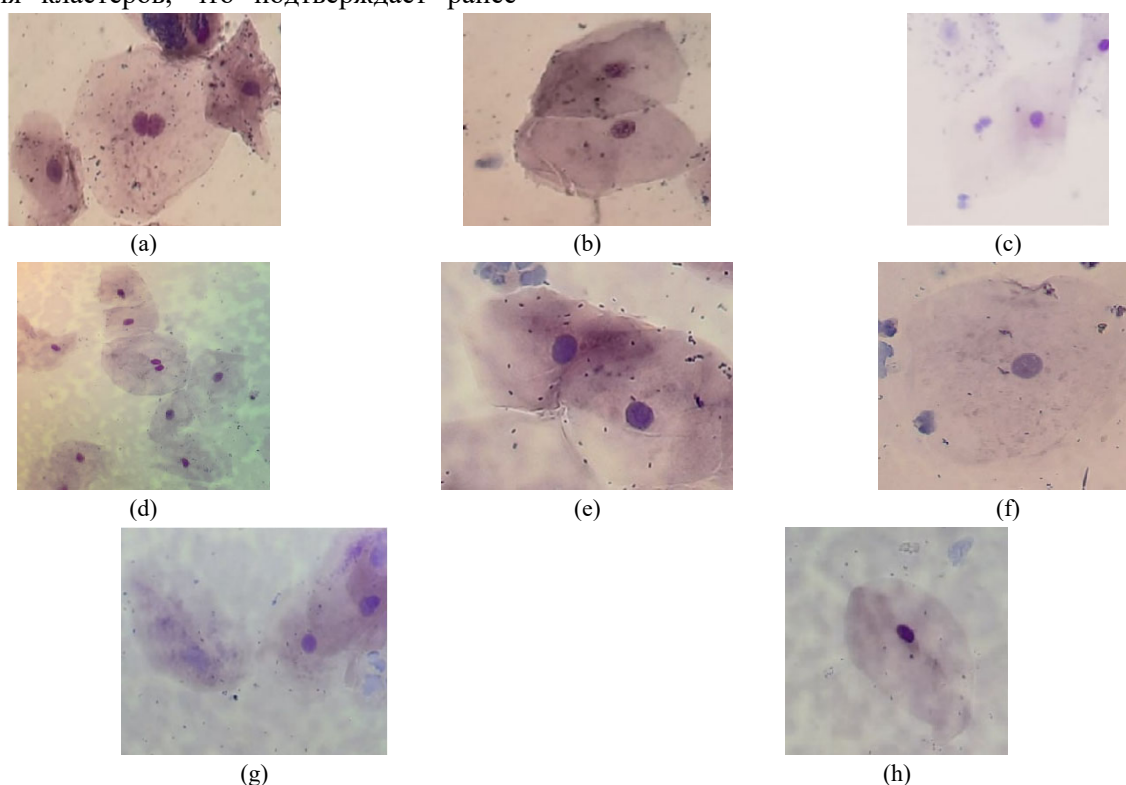


Рисунок 1. Клетки буккального эпителия человека с: (а) насечкой; (b) кариорексисом; (с) протрузией типа «язык»; (d) двумя ядрами; (e) микроядром; (f) перинуклеарной вакуолью; (g) кариолизисом; (h) кариопикнозом

Figure 1. Human buccal epithelial cells with (a) notch, (b) karyorexis, (c) tongue-like protrusion, (d) two nuclei, (e) micronucleus, (f) perinuclear vacuole, (g) karyolysis, (h) karyopiknosis

Таблица 2.

Индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений в буккальном эпителии человека в контрольной группе и у лиц, употреблявших охмеленное и не охмеленное сусло

Table 2.

Index of reparation and index of accumulation of cytogenetic disorders in human buccal epithelium in the control group and in persons who consumed hoped and unhopped wort

Показатель Indicator	Контроль   Control			Без хмеля   Without hops			С хмелем   With hops		
	Образец 1 Sample 1	Образец 2 Sample 2	Образец 3 Sample 3	Образец 1 Sample 1	Образец 2 Sample 2	Образец 3 Sample 3	Образец 1 Sample 1	Образец 2 Sample 2	Образец 3 Sample 3
RI	22,71 ± 9,0 Me = 14,5	19,45 ± 7,0 Me = 12	19,26 ± 5,2 Me = 17	16,72 ± 4,0 Me = 12,8	28,53 ± 15,6 Me = 9,4	8,4 ± 2,1 Me = 7,3	17,06 ± 4,0 Me = 12,8	28,5 ± 15,6 Me = 16,6	22,9 ± 2,1 Me = 13,1
Cv, %	115	101	80,1	85,1	197	88,6	79,5	61,7	108,3
Iac	6,7 ± 3,6 Me = 1,9	2,3 ± 0,6 Me = 1,7	2,4 ± 1,0 Me = 0,6	11,1 ± 4,0 Me = 2,7	7,9 ± 5,3 Me = 1,9	2,6 ± 1,6 Me = 2,5	3,5 ± 0,9 Me = 2,18	3,3 ± 2,8 Me = 1,9	2,6 ± 1,2 Me = 1,2
Cv, %	153	69,7	125	128	29,8	27,5	84,2	66,9	150

Как следует из анализа дендрограммы, нельзя выделить отдельные кластеры, группирующие отдельные серии экспериментов, т. е. можно говорить о том, что употребление такого рода напитков не сказывается на изучаемых цитогенетических показателях клеток буккального эпителия человека.

Нами был проведен факторный анализ. Результаты факторного анализа представлены на рисунке 3 (таблица 4). Факторный анализ позволил выявить один фактор, отражающий 96,37% дисперсии системы.



Таблица 3.

Кластерные расстояния между сериями экспериментов по употреблению обследуемыми охмеленных и неохмеленных образцов, вычисленные на основании индекса репарации и индекса накопления цитогенетических нарушений (средние значения, медианы и коэффициенты вариации) в буккальных эпителиоцитах

Table 3.

Cluster distances between series of experiments on consumption of hopped and unhopped samples by the subjects, calculated on the basis of the reparation index and the cytogenetic disturbance accumulation index (mean values, medians, and coefficients of variation) in buccal epithelial cells

	K1	K2	K3	Бх1	Бх2	Бх3	Ох1	Ох2
K2	2,587							
K3	2,316	2,228						
Бх1	3,01	4,044	4,53					
Бх2	3,993	3,771	5,2	4,967				
Бх3	4,962	3,353	5,114	4,196	5,235			
Ох1	2,375	0,984	2,066	3,372	4,329	3,146		
Ох2	3,759	2,55	4,01	4,649	4,159	4,102	2,824	
Ох3	1,574	1,939	1,726	4,154	4,306	4,814	2,08	3,214

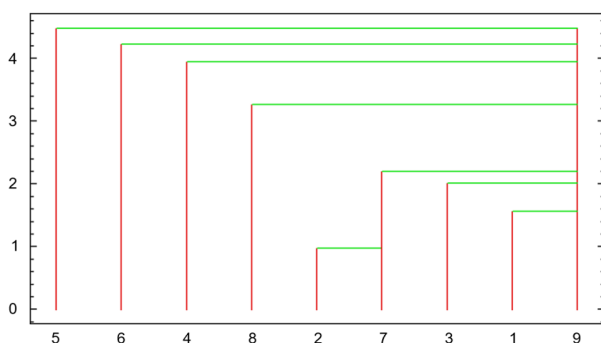


Рисунок 2. Дендрограмма кластерных расстояний между сериями экспериментов по употреблению охмеленных и неохмеленных образцов

Figure 2. Dendrogram of cluster distances between series of experiments on hopped and unhopped samples

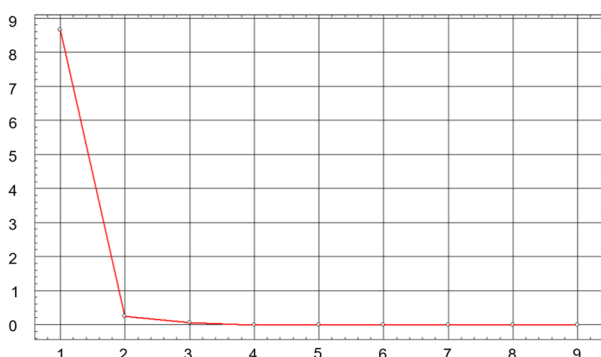


Рисунок 3. График собственных значений факторов (ось Y) относительно номеров факторов (ось X)

Figure 3. Graph of the eigenvalues of the factors (Y-axis) relative to the numbers of factors (X-axis)

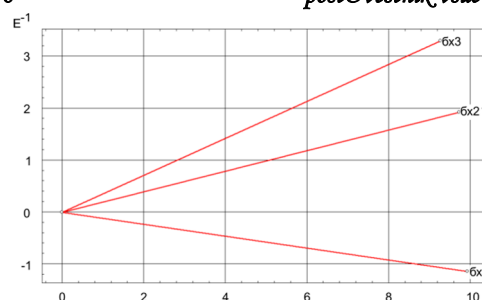


Рисунок 4. Факторный анализ результатов экспериментов по влиянию употребления охмеленных и неохмеленных образцов на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений

Figure 4. Factor analysis of the results of experiments on the effect of using hopped and unhopped samples on the reparation index and cytogenetic disorders accumulation index

Таблица 4.

Собственные значения и процент объясняемой дисперсии факторов

Table 4.

Eigenvalues and percentage of explained variance of factors

Фактор   Factor	1	2
Собственные значения   Eigenvalues	8,674	0,261
Дисперсия, %   Dispersion, %	96,37	2,9
Накопленная дисперсия, %   Cumulative var., %	96,37	99,27

### Закключение

Получены результаты исследования *in vivo* образцов сусли с целью выявления возможного отрицательного влияния хмеля, который вносит вклад в увеличение экстрактивных компонентов в готовом напитке при сухом охмелении и содержит большое количество биологически активных соединений (горькие и фенольные вещества, эфирные масла), на организм человека.

Проведен анализ частот встречаемости аномалий ядра в клетках буккального эпителия у лиц, употребляющих охмеленные и неохмеленные образцы сусли, на частоту встречаемости клеточных нарушений в буккальном эпителии человека. Обнаружены следующие типы нарушений: клетки с микроядрами, двумя ядрами, насечками, перинуклеарными вакуолями, протрузиями типа «язык» и «разбитое яйцо», кариопикнозом, кариолизисом и кариорексисом. На основании полученных данных вычислены индексы репарации (RI) и накопления цитогенетических нарушений (Iac).

Не выявлено влияние хмеля на индекс репарации и индекс накопления цитогенетических нарушений. Методами факторного анализа показано, что основной вклад в дисперсию системы признаков будет вносить фактор «специфичность изучаемых цитогенетических показателей».

## Литература

1. Malowicki M. G., Shellhammer T. H. Isomerization and degradation kinetics of hop (*Humulus lupulus*) acids in a model wort-boiling system // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2005. 53. № 11. С. 4434–4439. DOI:10.1021/jf0481296.
2. Jaskula B., Goiris K., van Opstaele F., Rouck G. de, Aerts G., Cooman L. de. Hopping technology in relation to  $\alpha$ -acids isomerization yield, final utilization, and stability of beer bitterness // *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2018. 67. № 1. С. 44–57. DOI:10.1094/ASBCJ-2009-0106-01.
3. Новикова И. В., Рукавицын П. В., Муравьев А. С. Оптимизация технологических параметров процесса сухого охмеления с разработкой методики интегральной оценки качества пива // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2021. № 3. С. 163–175. DOI:10.36107/spfp.2021.234.
4. Новикова И. В., Рукавицын П. В., Муравьев А. С. Влияние основных параметров процесса сухого охмеления на физико-химические показатели пива // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2018. 6 (53). С. 9–17.
5. Калаев В. Н., Артюхов В. Г., Нечаева М. С. Микроядерный тест буккального эпителия ротовой полости человека: проблемы, достижения, перспективы // *Цитология и генетика*. 2014. 48. № 6. С. 62–80.
6. Юрченко В. В. Микроядерный тест на буккальных эпителиоцитах человека. // *Полиорганный микроядерный тест в эколого-гигиенических исследованиях* / Ю. А. Рохманин. М.: Гениус, 2007.
7. Гернет М. В., Кобелев К. В., Грибова И. Н. Исследование влияния состава сырья на качество и безопасность готового пива. Часть I. Влияние состава зернового и сахаросодержащего сырья на образование летучих компонентов в пиве // *Пиво и напитки*. 2015. № 2. С. 32–37.
8. Гернет М. В. Перспективы расширения ассортимента напитков брожения для пивоваренных заводов малой мощности // *Пиво и напитки*. 2017. С. 14–17.
9. Podeszwa T., Harasym Joanna. New methods of hopping dryhopping and their impact on sensory properties of beer // *Acta Innovations*. 2016. № 21. С. 79–86.
10. Haseleu G., Intelmann D., Hofmann T. Identification and RP-HPLC-ESI-MS/MS quantitation of bitter-tasting beta-acid transformation products in beer // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2009. 57. № 16. С. 7480–7489. DOI:10.1021/jf901759y.
11. Чеснокова А. Н., Луцкий В. И. Пренилхалконы хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.): выделение, строение, перспективы использования // *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология*. 2008. 1. № 2. С. 94–96.
12. Taylor A. W., Barofsky E., Kennedy J. A., Deinzer M. L. Hop (*Humulus lupulus* L.) proanthocyanidins characterized by mass spectrometry, acid catalysis, and gel permeation chromatography // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2003. 51. № 14. С. 4101–4110. DOI:10.1021/jf0340409.
13. van Opstaele F., Causmaecker B. de, Aerts G., Cooman L. de. Characterization of novel varietal floral hop aromas by headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2012. 60. № 50. С. 12270–12281. DOI:10.1021/jf304421d.

## References

- 1 Malowicki M. G., Shellhammer T. H. Isomerization and degradation kinetics of hop (*Humulus lupulus*) acids in a model wort-boiling system. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2005. 53. no. 11. pp. 4434–4439. DOI:10.1021/jf0481296.
- 2 Jaskula B., Goiris K., van Opstaele F., Rouck G. de, Aerts G., Cooman L. de. Hopping technology in relation to  $\alpha$ -acids isomerization yield, final utilization, and stability of beer bitterness. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2018. 67. no. 1. pp. 44–57. DOI:10.1094/ASBCJ-2009-0106-01.
- 3 Novikova I. V., Rukavitsyn P. V., Murav'ev A. S. Optimization of technological parameters of the dry-climbing process with the development of an integrated beer quality assessment methodology. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2021. pp. 163–175. DOI: 10.36107/spfp.2021.234 (in Russian).
- 4 Novikova I. V., Rukavitsyn P. V., Murav'ev A. S. The influence of the main parameters of the dry hangover process on the physicochemical indicators of beer. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* [Technology and product science of innovative food products]. 2018. pp. 9–17. (in Russian).
- 5 Kalaev V. N., Artyukhov V. G., Nechaeva M. S. Micronuclear test of the beechal epithelium of the human oral cavity: problems, achievements, prospects. *Tsitologiya i genetika* [Cytology and genetics]. 2014. pp. 62–80. (in Russian).
- 6 Yurchenko V. V., Rokhmanin Yu. A. Mikroyadernyi test na bukka'nykh epiteliotsitakh cheloveka. *Polioorgannyi mikroyadernyi test v ekologo* [Micronuclear test on man's beechal epitheliotsitis. Polio micronuclear test in an eco-logical]. M.: Genius 2007. p. (in Russian).
- 7 Gernet M. V., Kobleev K. V., Gribova I. N. Study of the impact of the composition of raw materials on the quality and safety of finished beer. Part I. The effect of the composition of grain and sugar-containing raw materials on the formation of volatile components in beer. *Pivo i napitki* [Beer and drinks]. 2015. no. 2. pp. 32–37. (in Russian).
- 8 Gernet M. V. Prospects for expanding the range of fermentation beverages for low-power breweries. *Pivo i napitki* [Beer and drinks]. 2017. pp. 14–17. (in Russian).
- 9 Podeszwa T., Harasym Joanna. New methods of hopping dryhopping and their impact on sensory properties of beer. *Acta Innovations*. 2016. no. 21. pp. 79–86.

10 Haseleu G., Intelmann D., Hofmann T. Identification and RP-HPLC-ESI-MS/MS quantitation of bitter-tasting beta-acid transformation products in beer. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2009. 57. no. 16. pp. 7480–7489. DOI:10.1021/jf901759y.

11 Chesnokova A. N., Lutsii V. I. Prenilalkons of common hops (*Humulus lupulus* L.): selection of prospects for the use of. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya* [News of Irkutsk State University. Series: Biology. Ecology]. 2008. pp. 94–96. (in Russian).

12 Taylor A. W., Barofsky E., Kennedy J. A., Deinzer M. L. Hop (*Humulus lupulus* L.) proanthocyanidins characterized by mass spectrometry, acid catalysis, and gel permeation chromatography. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2003. 51. no. 14. pp. 4101–4110. DOI:10.1021/jf0340409.

13 van Opstaele F., Causmaecker B. de, Aerts G., Cooman L. de. Characterization of novel varietal floral hop aromas by headspace solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2012. 60. no. 50. pp. 12270–12281. DOI:10.1021/jf304421d.

#### Сведения об авторах

**Инна В. Новикова** д.т.н., профессор, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, noviv@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

**Владислав Н. Калаев** д.б.н., профессор, кафедра генетики, цитологии и биоинженерии, Воронежский государственный университет, Университетская площадь, 1 г. Воронеж, 394018, Россия, dr\_huixs@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4247-4509>

**Александр С. Муравьев** к.т.н., инженер, отдел стандартизации и метрологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hntrun@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4247-4509>

**Павел В. Рукавицын** к.т.н., кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kaf-tbsp@vsuet.ru

**Оксана Ю. Мальцева** к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ksenia2002@list.ru

**Иван Н. Криваносов** магистрант, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kaf-tbsp@vsuet.ru

#### Вклад авторов

**Инна В. Новикова** предложила методику проведения эксперимента

**Владислав Н. Калаев** организовал производственные испытания

**Александр С. Муравьев** консультация в ходе исследования

**Павел В. Рукавицын** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Оксана Ю. Мальцева** проведение эксперимента, выполнила расчёты

**Иван Н. Криваносов** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, проведение эксперимента

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Inna V. Novikova** Dr. Sci. (Engin.), professor, Department of Technology of Fermentation and Sugar Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, noviv@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2360-5892>

**Vladislav N. Kalaev** Dr. Sci. (Boil.), professor, Department of Genetics, Cytology and Bioengineering, Voronezh State University, University Square, 1 Voronezh. Voronezh, 394018, Russia, dr\_huixs@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4247-4509>

**Aleksandr S. Muravev** Cand. Sci. (Engin.), engineer, department of standardization and metrology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hntrun@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4247-4509>

**Pavel V. Rukavitsyn** Cand. Sci. (Engin.), Department of Technology of Fermentation and Sugar Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kaf-tbsp@vsuet.ru

**Oksana Y. Maltseva** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Biochemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ksenia2002@list.ru

**Ivan N. Krivanosov** master student, Department of Technology of Fermentation and Sugar Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kaf-tbsp@vsuet.ru

#### Contribution

**Inna V. Novikova** proposed a scheme of the experiment

**Vladislav N. Kalaev** organized production trials

**Aleksandr S. Muravev** consultation during the study

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

**Oksana Y. Maltseva** conducted an experiment, performed computations

**Ivan N. Krivanosov** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/09/2022

После редакции 18/10/2022

Принята в печать 29/10/2022

Received 11/09/2022

Accepted in revised 18/10/2022

Accepted 29/10/2022

## Химическая технология

## Chemical Technology

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-4-157-167>



Оригинальная статья/Research article

УДК 661.715.7:66.011

Open Access

Available online at [vestnik-vsuet.ru](http://vestnik-vsuet.ru)

## Оптимизация содержания пропилена в пропан-пропиленовой фракции, подаваемой на алкилирование бензола с целью получения изопропилбензола



Сергей В. Лошманов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	
Сергей В. Попов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:svpopov2018@ya.ru">svpopov2018@ya.ru</a>	 0000-0003-0533-9049
Оксана В. Хабибрахманова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	 0000-0002-1523-9861

<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

**Аннотация.** Одним из ответственных узлов для установок получения изопропилбензола является узел подготовки фракций реактантов, в частности используемой пропан-пропиленовой фракции. В соответствии с Техническими условиями ТУ 0272-024-00151638-99 содержание пропилена в этой фракции должно составлять не менее 65% мас. Такое достаточно низкое содержание пропилена для проведения реакции алкилирования бензола приводит к неэффективному использованию реакционного объема реактора алкилирования. Рассматривается работа узла концентрирования пропилена из пропан-пропиленовой фракции промышленного производства изопропилбензола алкилированием бензола пропиленом. Исследование проводится с использованием моделирующей системы Honeywell UniSim Design. Моделируется протекание процесса в одной ректификационной колонне и при использовании двух колонн. Проведением вычислительного эксперимента показано, что для получения пропиленовой (расчетное содержание пропилена 99,1% мас.) и пропановой (расчетное содержание пропана 90% мас., пропилен – 4,47% мас.) фракций, удовлетворяющих параметрам действующих нормативных документов, возможно использование одной ректификационной колонны с технологическими режимами: Тниз=31,4 °С, Тверх=21,17 °С, давление в аппарате 1050 кПа, флегмовое число R=13,43. При использовании двух колонн первая качественно «формирует» пропиленовую фракцию (расчетное содержание пропилена 99,1% мас., пропана 0,8% мас.), а вторая колонна – пропановую фракцию с практическим отсутствием в ней пропилена (содержание пропана 94,42% мас., пропилен – 0,03% мас.). Разработанные модели технологических схем концентрирования пропилена из пропан-пропиленовой фракции могут использоваться для оценки режимных и конструктивных параметров колонн и анализа достигаемых показателей процесса. Расчетами показано, что на промышленном узле вероятной причиной высокого содержания пропана в получаемой пропиленовой фракции порядка 7% мас. является поддержание неоптимальных технологических режимов. Приводятся значения целесообразных режимных параметров.

**Ключевые слова:** бензол, пропилен, пропан-пропиленовая фракция, алкилирование, изопропилбензол, моделирование.

## Optimization of the propylene content in the propane-propylene fraction fed to benzene alkylation in order to obtain isopropylbenzene

Sergey V. Loshmanov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	
Sergey V. Popov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:svpopov2018@ya.ru">svpopov2018@ya.ru</a>	 0000-0003-0533-9049
Oksana V. Khabibrakhmanova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	 0000-0002-1523-9861

<sup>1</sup> Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

**Abstract.** One of the critical units for isopropylbenzene production plants is the unit for preparation of reactant fractions, in particular, the used propane-propylene fraction. In accordance with the Specifications TU 0272-024-00151638-99, the content of propylene in this fraction must be at least 65% wt. Such a sufficiently low content of propylene to carry out the reaction of benzene alkylation leads to inefficient use of the reaction volume of the alkylation reactor. The operation of the unit for the concentration of propylene from the propane-propylene fraction of the industrial production of isopropylbenzene by alkylation of benzene with propylene is considered. The study is carried out using the Honeywell UniSim Design modeling system. The flow of the process in one distillation column and when using two columns is simulated. A computational experiment has shown that in order to obtain propylene (calculated propylene content 99.1% wt.) and propane (estimated propane content 90% wt., propylene - 4.47% wt.) fractions that meet the parameters of current regulatory documents, it is possible to use one distillation column with technological modes: T<sub>low</sub>=31.4 °C, T<sub>up</sub>=21.17 °C, apparatus pressure 1050 kPa, reflux ratio R=13.43. When using two columns, the first one qualitatively "forms" the propylene fraction (calculated content of propylene 99.1% wt., propane 0.8% wt.), and the second column - the propane fraction with the practical absence of propylene in it (propane content 94.42% wt., propylene - 0.03% wt.). The developed models of technological schemes for the concentration of propylene from the propane-propylene fraction can be used to evaluate the operating and design parameters of columns and analyze the achieved process indicators. Calculations show that at the industrial site, the probable cause of the high propane content in the resulting propylene fraction is about 7% wt. is the maintenance of non-optimal technological regimes. Values of expedient operating parameters are given.

**Keywords:** benzene, propylene, propane-propylene fraction, alkylation, isopropylbenzene, modeling

## Для цитирования

Лошманов С.В., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Оптимизация содержания пропилена в пропан-пропиленовой фракции, подаваемой на алкилирование бензола с целью получения изопропилбензола // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 157–167. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-157-167

## For citation

Loshmanov S.V., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Optimization of the propylene content in the propane-propylene fraction fed to benzene alkylation in order to obtain isopropylbenzene. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 157–167. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-157-167

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

## Введение

Производство изопропилбензола является первой стадией совместного получения фенола и ацетона кумольным методом [1]. Ежегодный прирост синтеза фенола составляет величину порядка 6% [2], что объясняет научный и практический интерес к совершенствованию процесса алкилирования бензола пропиленом, направления исследования которого затрагивают кинетику и технологическое оформление процесса, его аппаратное оформление, системы автоматического регулирования и другое [3–14]. В частности, возможность использования вихревого смесителя для смешения осушенной бензольной шихты и полиалкилбензолов с пропиленом показана в [5], в патенте [6] предлагается раздельное проведение реакции алкилирования и переалкилирования. В патенте [7] для увеличения выхода и оптимизации фракционного состава используют реакционно-ректификационную колонну. Разработка катализаторов для процесса алкилирования бензола пропиленом описывается в исследованиях [8–10].

Одним из ответственных узлов для установок получения изопропилбензола является узел подготовки фракций реактантов, в частности используемой пропан-пропиленовой фракции (ППФ). В соответствии с Техническими условиями ТУ 0272–024–00151638–99 [11] содержание пропилена в ППФ должно составлять не менее 65% мас. В одном из ранних исследований [12] описывается способ разделения пропана и пропилена, в котором используется ректификационная колонна с 200 тарелками, работающая при давлении 1,8 МПа. В ректификационном способе концентрирования пропилена выше 97% мас. используют углеводородные разбавители [13]. В патенте [14] для разделения газов пиролиза предлагается выделять пропилен из ППФ в двух ректификационных колоннах, обеспечивающих содержание олефина в пропиленовой фракции 90% мас.

**Цель работы** – оптимизация содержания пропилена до 99,1% мас. в пропиленовой фракции, выделенной из ППФ для промышленной установки получения изопропилбензола.

## Методы

Анализ состава ППФ на действующем производстве показывают, что содержание пропилена в ППФ может изменяться от 52,8 до 65,1% мас. [15]. Такое достаточно низкое содержание пропилена для проведения реакции алкилирования бензола приводит к неэффективному использованию реакционного объема, так как пропан в рассматриваемом случае не участвует в реакции и является «балластом», занимающим соответствующий объем реактора.

Исследования по концентрированию пропилена из ППФ проводили с использованием программной среды Honeywell UniSim Design [16]. Для расчета термодинамических свойств компонентов технологических потоков использовали метод NRTL. В состав компонентов технологических потоков входили метан, этан, пропан, изобутан, 1-бутен и пропилен.

На рисунке 1 в координатах «давление-температура» показаны кривые кипения и конденсации для рассматриваемой ППФ. Видно, что их близкое расположение объясняет наличие определенных трудностей для разделения компонентов смеси.

## Результаты и обсуждение

Для оценки технологических режимов и конструкционных параметров массообменного аппарата для концентрирования пропилена было рассчитано теоретически оптимальное аппаратное оформление колонны. Расчеты показали, что при использовании ректификационной колонны с давлением в аппарате порядка 1050 кПа для снижения содержания пропана в дистилляте (пропиленовая фракция) до 0,008 мол. доля и содержания пропилена в кубе (пропановая фракция) 0,005 мол. доля потребуется 54 теоретических тарелок (актуальное число тарелок 71 и тарелка питания 29), принятое флегмовое число  $R = 15$ , температуры в конденсаторе и ребойлере 19,26 и 30,28 °C соответственно.

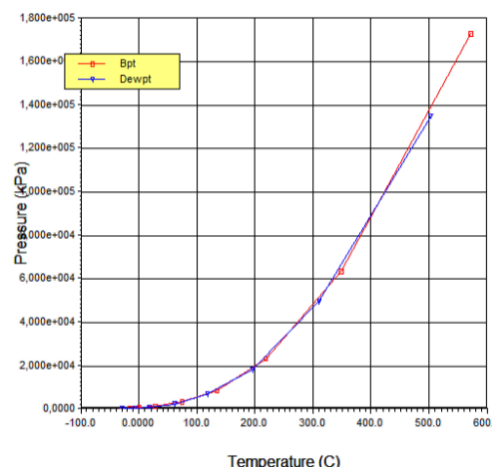


Рисунок 1. Кривые кипения и конденсации смеси компонентов ППФ (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 1. Curves of boiling and condensation of a mixture of PPF components (printout in Honeywell UniSim Design)

Для дальнейшего рассмотрения возможности концентрирования пропилена в пропиленовой фракции рассматривали два варианта технологического оформления процесса – с использованием одной ректификационной колонны и системы, состоящей из двух колонн. При этом



были взяты следующие конструкционные параметры: число тарелок  $N_T = 71$ , тарелка питания  $N_{пит} = 29$ , эффективность контактного устройства 0,8 (предполагается использование клапанных тарелок, в частности клапанных эжекционных ЭТ-ИМПА-01 ТУ 3611-004-507890004-2006).

На рисунке 2 показан вариант с использованием одной ректификационной колонны. Пропан-пропиленовая фракция (поток **ппф-2**) после рекуперативного теплообменника  $ТОА2-2-2$  и теплообменника  $ТОА1-2-2$  поступает на 29 тарелку ректификационной колонны  $K-14/2$  изм-2. В качестве дистиллята отбирается пропиленовая фракция (поток **фрПРОПИЛЕН-2**), кубовый продукт поступает после насоса  $H-19-2-2$  в теплообменник  $ТОА2-2-2$ , где отдает тепло сырьевому потоку **ппф-2**. Охлажденная пропановая фракция – поток **фр\_ПРОПАН-2**. Значения технологических режимов и компонентный

состав потоков колонны  $K-14/2$  изм-2 показаны в таблице 1 (оценка флегмового числа  $R = 13,43$ ), температурный профиль по высоте колонны приведен на рисунке 3.

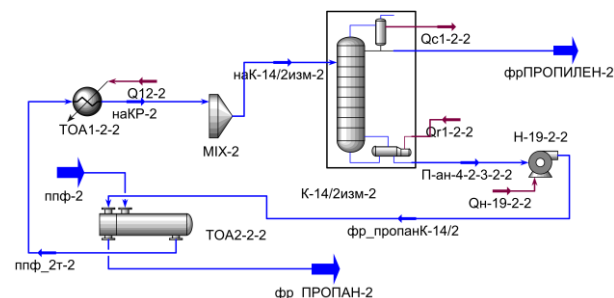


Рисунок 2. Одноколонная система концентрирования пропилена из ППФ (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 2. PPF Single Column Propylene Concentration System (printout from Honeywell UniSim Design)

Таблица 1.  
Значения технологических режимов (а) и компонентный состав потоков (б) колонны  $K-14/2$  изм-2 (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 1.  
Values of technological regimes (a) and component composition of flows (b) of column  $K-14/2$  изм-2 (printout in Honeywell UniSim Design)

Name	наК-14/2изм-2	П-ан-4-2-3-2-2	фрПРОПИЛЕ
Vapour	0,0000	0,0000	0,0000
Temperature [C]	25,00	31,40	21,17
Pressure [kPa]	1130	1090	1050
Molar Flow [kgmole/h]	140,0	40,72	99,28
Mass Flow [kg/h]	6000	1823	4177
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	11,59	3,568	8,023
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-3,097e+004	-1,149e+005	3361
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	121,4	169,1	94,62
Heat Flow [kJ/h]	-4,336e+006	-4,679e+006	3,336e+005

(a)

	наК-14/2изм-2	П-ан-4-2-3-2-2	фрПРОПИЛЕН-2
Methane	0,000400	0,000000	0,000564
Ethane	0,000500	0,000000	0,000705
Propane	0,267534	0,900264	0,008000
i-Butane	0,014707	0,050563	0,000000
1-Butene	0,001301	0,004472	0,000000
Propene	0,715558	0,044702	0,990730

(b)

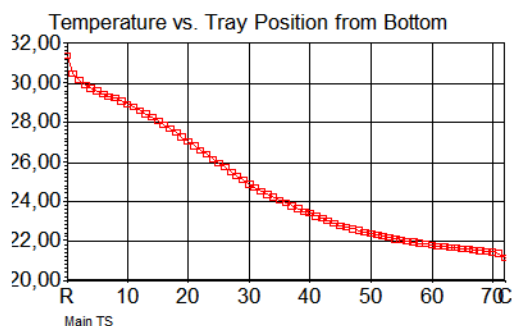


Рисунок 3. Температурный профиль по высоте колонны (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 3. Temperature profile along the height of the column (printout in Honeywell UniSim Design)

Из таблицы 1 видно, что при рассчитанных технологических режимах ( $T_{низ} = 31,40$  °C,  $T_{верх} = 21,17$  °C,  $P_{низ} = 1090$  кПа,  $P_{верх} = 1050$  кПа,  $R = 13,43$ ) содержание пропилена в пропиленовой фракции (поток **фрПРОПИЛЕН-2**) составляет 99,07% мас., что значительно лучше показателей, изложенных в стандарте СТ 300101-2014 [17], где отмечено, что содержание олефина должно быть не менее 92% мас. Пропан в пропановой фракции (поток **фр\_ПРОПАН-2**) содержится в количестве 90% мас. (содержание пропилена 4,47% мас.), данные показатели соответствуют Техническим условиям ТУ 0272-023-00151638-99 [18].



На узле концентрирования пропилена из ППФ используются колонны с 71 клапанными 2-х поточными тарелками, диаметр и высота аппаратов – 2 м и 36,7 м соответственно [19]. В таблице 2 приведены рассчитанные конструкционные параметры колонны К-14/2 изм-2, полученные для расхода питания колонны 6 т/ч. Видно, что возможно использование колонны с одинаковым диаметром в её исчерпывающей и укрепляющей частях. Сравнение соответствующих характеристик промышленной и рассчитанной колонн указывает на их близкие численные значения. Следовательно, для рассматриваемой ректификационной колонны (диаметр 2 м) величина 6 т/ч является номинальным расходом питания, при котором обеспечивается устойчивая работа тарелок. При возрастании нагрузки на колонну требуется соответствующее увеличение её диаметра, в частности при нагрузке 8 т/ч целесообразный диаметр составляет величину 2,3 м, а при нагрузке 10 т/ч – 2,5 м.

При эксплуатации колонн необходимо учитывать интервал допустимых нагрузок, при которых тот или иной тип тарелок работает в устойчивом режиме, то есть не возникает режим «захлёбывания» или «провала». Отметим, что предложенная технологическая схема с соответствующими режимными параметрами колонны (рисунок 2) может быть использована для подготовки пропиленовой фракции промышленной установки алкилирования бензола.

Вместе с тем присутствие пропилена (4,47% мас.) в пропановой фракции приводит к его «потере» для реакции алкилирования. Для решения данного вопроса ниже проводится моделирование и оптимизация режимов работы аппаратов промышленного узла концентрирования пропилена из ППФ [19].

На рисунке 4 показана разработанная модель технологической схемы узла концентрирования пропилена.

Таблица 2.

Конструкционные параметры колонны К-14/2 изм-2 (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 2.

Structural parameters of the K-14/2 изм-2 column (printout in Honeywell UniSim Design)

Tray Results		
Section	Section_1	Section_2
Internals	Valve	Valve
Section Diameter [m]	1,981	1,981
Max Flooding [%]	84,26	84,81
X-Sectional Area [m2]	3,083	3,083
Section Height [m]	25,60	15,95
Section DeltaP [kPa]	29,15	18,55
Number of Flow Paths	2	2
Flow Length [mm]	673,1	673,1
Flow Width [mm]	1721	1721
Max DC Backup [%]	42,22	46,50
Max Weir Load [m3/h-m]	45,42	47,96
Max DP/Tray [kPa]	0,696	0,642
Tray Spacing [mm]	609,6	550,0

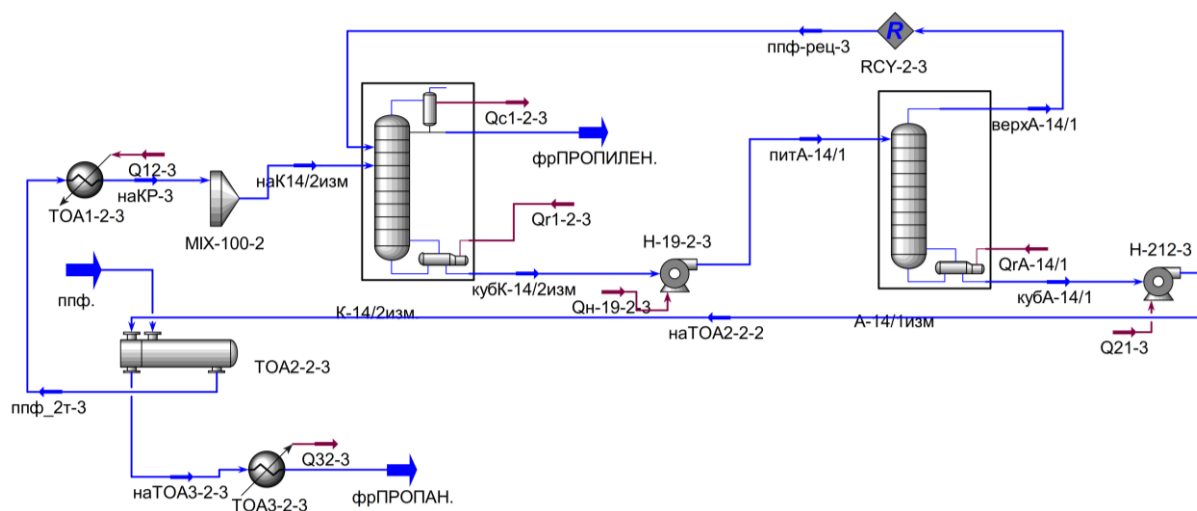


Рисунок 4. Модель промышленного узла концентрирования пропилена из ППФ (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 4. Model of an industrial plant for the concentration of propylene from PPF (printout in Honeywell UniSim Design)

Поток **ппф** после системы теплообменников, аналогичной соответствующим теплообменникам схемы на рисунке 2, поступает на 29 тарелку ректификационной колонны К-14/2 изм. Дистиллят колонны – пропиленовая фракция (поток **фрПРОПИЛЕН**). Отличительной особенностью от предыдущей технологической схемы является

использование второй колонны А-14/1 изм, на питание которой в её верхнюю часть подается кубовый продукт колонны К-14/2 изм. С верха колонны А-14/1 изм после компрессора К-100 технологический поток **ппф-рец-3** рециркулирует в нижнюю часть колонны К-14/2 изм. Кубовый продукт колонны А-14/1 изм – пропановая

фракция, после охлаждения в системе теплообменников – поток **фр\_ПРОПАН**. Сравнение технологических схем (рисунок 2 и рисунок 4) показывает, что назначение второй колонны – практическое выведение пропилена из состава пропановой фракции. При этом при использовании одноколонной системы концентрирования пропилена из ППФ величина флегмового числа ( $R = 13.43$ ) выбиралась из необходимости удовлетворения требованиям нормативов [17, 18]. При использовании двух колонн первая качественно «формирует» пропиленовую фракцию (содержание пропана 0.8% мас.), а вторая колонна –

пропановую фракцию с практическим отсутствием в ней пропилена (0.03% мас.).

Значения рассчитанных технологических параметров и компонентный состав потоков ректификационных колонн К-14/2 изм (флегмовое число  $R = 15$ ) и А-14/1 изм приведены в таблице 3 и таблице 4 соответственно. Изменение температуры по высоте колонн показано на рисунке 5. Для колонн с диаметром 2 м величина расхода питания должна быть порядка 6 т/ч. Отметим, что приведенные технологические режимы могут быть использованы в промышленных условиях.

Таблица 3.

Значения технологических параметров (а) и компонентный состав потоков (б) колонны К-14/2 изм (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 3.

Values of technological parameters (a) and component composition of flows (b) of column K-14/2 изм (printout in Honeywell UniSim Design)

Name	ппф-рец-3	наК14/2изм	кубК-14/2изм	фрПРОПИЛЕ
Vapour	0,9998	0,0000	0,0000	0,0000
Temperature [C]	30,15	42,00	29,71	21,17
Pressure [kPa]	1100	1667	1090	1050
Molar Flow [kgmole/h]	456,8	140,0	495,8	101,0
Mass Flow [kg/h]	2,006e+004	6000	2,181e+004	4250
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	39,47	11,59	42,90	8,163
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-9,028e+004	-2,896e+004	-1,072e+005	3363
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	177,0	134,0	164,8	94,62
Heat Flow [kJ/h]	-4,124e+007	-4,054e+006	-5,317e+007	3,397e+005

(a)

	ппф-рец-3	наК14/2изм	кубК-14/2изм	фрПРОПИЛЕН.
Methane	0,000000	0,000400	0,000000	0,000555
Ethane	0,000000	0,000500	0,000000	0,000693
Propane	0,890546	0,267534	0,894441	0,008000
i-Butane	0,002392	0,014707	0,006357	0,000000
1-Butene	0,000168	0,001301	0,000522	0,000000
Propene	0,106894	0,715558	0,098680	0,990752

(b)

Таблица 4.

Значения технологических параметров (а) и компонентный состав потоков (б) колонны А-14/1 изм (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 4.

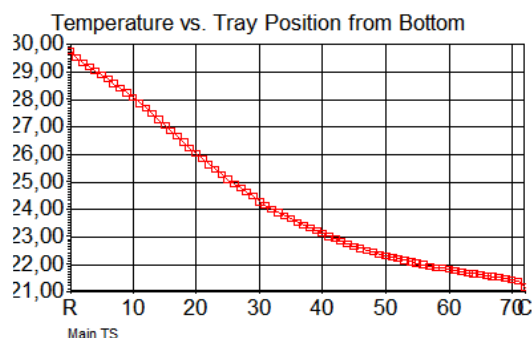
Values of technological parameters (a) and component composition of streams (b) of column A-14/1 изм (printout in Honeywell UniSim Design)

Name	питА-14/1	кубА-14/1	верхА-14/1
Vapour	0,0000	0,0000	0,9998
Temperature [C]	29,92	34,00	30,15
Pressure [kPa]	1300	1150	1100
Molar Flow [kgmole/h]	495,8	41,07	454,7
Mass Flow [kg/h]	2,181e+004	1843	1,997e+004
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	42,90	3,610	39,29
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,072e+005	-1,201e+005	-9,019e+004
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	166,4	172,7	177,0
Heat Flow [kJ/h]	-5,316e+007	-4,934e+006	-4,101e+007

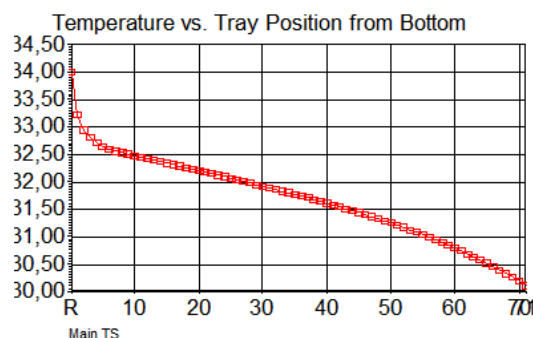
(a)

	питА-14/1	кубА-14/1	верхА-14/1
Methane	0,000000	0,000000	0,000000
Ethane	0,000000	0,000000	0,000000
Propane	0,894441	0,944283	0,889939
i-Butane	0,006357	0,050896	0,002334
1-Butene	0,000522	0,004476	0,000164
Propene	0,098680	0,000345	0,107562

(b)



(a)



(b)

Рисунок 5. Температурный профиль по высоте колонн К-14/2 изм (а) и А-14/1 изм (b) (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 5. Temperature profile along the height of columns К-14/2 изм (a) and А-14/1 изм (b) (printout in Honeywell UniSim Design)

Разработанная модель двухколонной технологической схемы была использована для анализа работы промышленного узла концентрирования пропилена [19]. Расчетами показано, что вероятной причиной высокого содержания пропана (порядка 7% мас.) в получаемой пропиленовой фракции является использование неоптимальных технологических режимов.

Для получения в промышленных условиях на существующих колонных аппаратах диаметром 2 м (с сохранением используемых давлений в аппаратах порядка 1600кПа) пропиленовой фракции с содержанием пропилена 99,1% мас. целесообразно увеличение флегмового числа с  $R = 9,8$  до  $R = 15$  с одновременным уменьшением расхода питания до 6 т/ч и поддержанием следующих температурных режимов колонн: для колонны К-14/2 температура в конденсаторе  $T_{\text{конд}} = 35,87^\circ\text{C}$  и температура в ребойлере  $T_{\text{реб}} = 45,66^\circ\text{C}$ , для колонны К-14/1 температура верха  $T_{\text{верх}} = 45,77^\circ\text{C}$  и температура в ребойлере  $T_{\text{реб}} = 49,76^\circ\text{C}$ . Приведенные режимы значительно отличаются от используемых в промышленности.

### Заключение

Анализ состава промышленной ППФ, используемой при алкилировании бензола

с целью получения изопропилбензола, показал, что для эффективного использования реакционного объема реактора алкилирования необходимо концентрирование пропилена из ППФ. На действующем узле получаемая пропиленовая фракция содержит  $6,18 \div 8,94\%$  мас. пропана.

С целью оценки возможности существенного концентрирования пропилена из ППФ до 99,1% мас. в программной среде Honeywell UniSim Design были разработаны модели технологических схем концентрирования. Проведением вычислительного эксперимента показано, что для получения из ППФ пропиленовой и пропановой фракций, удовлетворяющих параметрам из нормативных документов [17, 18], возможно использование одной ректификационной колонны. Для схемы, состоящей из двух колонн, найдены оптимальные технологические режимы, обеспечивающие в получаемой пропиленовой фракции содержание пропилена 99,1% мас. и пропана не более 0,8% мас., остаточное содержание пропилена в пропановой фракции порядка 0,03% мас.

Разработанные модели технологических схем концентрирования пропилена из ППФ могут использоваться для оценки режимных и конструкционных параметров массообменных колонн и анализа достигаемых показателей процесса.

### Литература

- 1 Dirin A.M., Saljoughi E., Mousavi S.M., Kiani S. Pervaporation separation of isopropylbenzene from water using four different polymeric membranes: Membrane preparation, modification, characterization, and performance evaluation // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2020. V. 114. P. 67-80. doi: 10.1016/j.jtice.2020.09.023
- 2 Рынок фенола в России. Текущая ситуация и прогноз 2022–2026 гг. АСГ, 2021. 115 с.
- 3 Гайле А.А., Сомов В.Е., Варшавский О.М. Ароматические углеводороды. Выделение, применение, рынок. М.: Химиздат, 2000. 464 с.
- 4 Zheng J., Yi Y., Wang W., Guo K. et al. Synthesis of bi-phases composite zeolites MFZ and its hierarchical effects in isopropylbenzene catalytic cracking // Microporous and mesoporous materials. 2013. V. 171. P. 44-52. doi: 10.1016/j.micromeso.2012.12.041
- 5 Пат. № 2477717, RU, C07C 15/085, 2/68. Способ получения изопропилбензола / Чернов В.А., Штатнов Д.В., Фролов В.В., Куревин В.А., Паруллин А.Г. № 2011142714/04; Заявл. 21.10.2011; Опубл. 20.03.2013, Бюл. № 8.

- 6 Пат. № 2639706, RU, C07C 15/085, 2/66, 6/12. Способ получения изопропилбензола / Нестерова Т.Н., Востриков С.В., Мазурин О.А. № 2016120713; Заявл. 26.05.2016; Оpubл. 30.11.2017, Бюл. № 34.
- 7 Пат. № 115779, RU, C07C 2/66, 15/085, 6/12, B01J 37/08, 37/04, 29/70. Способ приготовления катализатора и способ получения изопропилбензола с использованием этого катализатора / Ечевский Г.В., Коденев Е.Г. № 2020116663; Заявл. 21.05.2020; Оpubл. 04.12.2020, Бюл. № 34.
- 8 Пат. № 2097129, RU, B01J 29/70, 37/00, C07C 2/66. Катализатор для алкилирования бензола пропиленом и способ его приготовления / Романников В.Н. № 95110647/04; Заявл. 28.06.1995; Оpubл. 27.11.1997.
- 9 Пат. № 2096086, RU, B01J 27/182, C07C 15/085. Катализатор синтеза кумола / Тарасова Д.В., Содержинова М.М., Яковлева Т.Н., Бакши Ю.М., Гельперин Е.И., Смирнов В.В., Судакова Н.Р., Локтев А.С. № 95109723/04; Заявл. 13.06.1995; Оpubл. 20.11.1997.
- 10 Пат. № 2737897, RU, C07C 2/66, 15/085, 6/12, B01J 37/08, 37/04, 29/70. Способ приготовления катализатора и способ получения изопропилбензола с использованием этого катализатора / Ечевский Г.В., Коденев Е.Г. № 2020116663; Заявл. 21.05.2020; Оpubл. 04.12.2020, Бюл. № 34.
- 11 Lakshmanan V.M., Kallingal A., Sreekumar S. Robust control of isopropyl benzene production process using  $H_{\infty}$  loop shaping control scheme // Journal of Control and Decision. 2022. P. 1-11. doi: 10.1080/23307706.2022.2146009
- 12 Zhu W., Li E., Huang F. Highly selective separation of isopropylbenzene and  $\alpha$ -methylstyrene by nonporous adaptive crystals of perbromoethylated pillararene via vapor-and liquid-phase adsorptions // ACS Applied Materials & Interfaces. 2021. V. 13. №. 6. P. 7370-7376. doi: 10.1021/acsami.0c23059
- 13 Пат. № 2296736, RU, C07C 7/05, 11/06, 9/08. Способ разделения пропена и пропана / Павлов О.С., Павлов Д.С., Павлов С.Ю. № 2006104239/04; Заявл. 13.02.2006; Оpubл. 10.04.2007, Бюл. № 10.
- 14 Пат. № 2733380, RU, C07C 7/05, 9/08. Способ выделения пропилена из пропан-пропиленовой фракции / Белов Е.А., Белов А.А., Зарипов Р.Т., Минигулов Ф.Г., Сафин Д.Х. № 2020115055; Заявл. 29.04.2020; Оpubл. 01.10.2020, Бюл. № 28.
- 15 Chudinova A.A. Buchatskaya N.I., Podgorniy V.V., Gavrikov A.A. et al. Increase of efficiency isopropylbenzene manufacturing with use of integrated mathematical models // Petroleum & Coal. 2016. V. 58. №. 2.
- 16 Machado S.W.M., Santana J.C., Pedrosa A.M., Souza M.J. et al. Catalytic cracking of isopropylbenzene over hybrid HZSM-12/M41S (M41S= MCM-41 or MCM-48) micro-mesoporous materials // Petroleum Science and Technology. 2018. V. 36. №. 13. P. 923-929. doi: 10.1080/10916466.2018.1454950
- 17 Ai X., Li X., Yu Y., Pan H. et al. The mechanical, thermal, rheological and morphological properties of PLA/PBAT blown films by using bis (tert-butyl dioxo isopropyl) benzene as crosslinking agent // Polymer Engineering & Science. 2019. V. 59. №. S1. P. E227-E236. doi: 10.1002/pen.24927
- 18 Jiménez-García G., de Lasa H., Maya-Yescas R. Simultaneous estimation of kinetics and catalysts activity during cracking of 1, 3, 5-tri-isopropyl benzene on FCC catalyst // Catalysis Today. 2014. V. 220. P. 178-185. doi: 10.1016/j.cattod.2013.10.026
- 19 Zeynalov E.B., Nagiyev Y.M., Magerramova M.Y. Investigation of catalytic properties of nano-particulated titanium dioxide in oxidation of isopropylbenzene // Azerbaijan Chemical Journal. 2016. №. 1. P. 97-101.
- 20 Vovdenko M.K., Gabitov S.A., Koledina K.F., Ahmerov E.A. et al. Mathematical modeling of isopropylbenzene oxidation reaction and oxidation reactor // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2018. V. 1096. №. 1. P. 012189. doi: 10.1088/1742-6596/1096/1/012189

## References

- 1 Dirin A.M., Saljoughi E., Mousavi S.M., Kiani S. Pervaporation separation of isopropylbenzene from water using four different polymeric membranes: Membrane preparation, modification, characterization, and performance evaluation. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2020. vol. 114. pp. 67-80. doi: 10.1016/j.jtice.2020.09.023
- 2 Phenol market in Russia. Current situation and forecast 2022–2026 ACG, 2021. 115 p. (in Russian).
- 3 Gaile A.A., Somov V.E., Varshavsky O.M. aromatic hydrocarbons. Isolation, application, market. Moscow, Himizdat, 2000. 464 p. (in Russian).
- 4 Zheng J., Yi Y., Wang W., Guo K. et al. Synthesis of bi-phases composite zeolites MFZ and its hierarchical effects in isopropylbenzene catalytic cracking. Microporous and mesoporous materials. 2013. vol. 171. pp. 44-52. doi: 10.1016/j.micromeso.2012.12.041
- 5 Chernov V.A., Shtatnov D.V., Frolov V.V., Kurevin V.A., Parullin A.G. Method for obtaining isopropylbenzene. Patent RF, no. 2477717, 2013.
- 6 Nesterova T.N., Vostrikov S.V., Mazurin O.A. Method for obtaining isopropylbenzene. Patent RF, no. 2639706, 2017.
- 7 Echevsky G.V., Kodenev E.G. A method for preparing a catalyst and a method for producing isopropylbenzene using this catalyst. Patent RF, no. 115779, 2020.
- 8 Romannikov V.N. Catalyst for alkylation of benzene with propylene and method of its preparation. Patent RF, no. 2097129, 1997.
- 9 Tarasova D.V., Soderzhinova M.M., Yakovleva T.N., Bakshi Yu.M., Gelperin E.I., Sмирнов V.V., Sudaкова N.R., Loktev A.S. Cumene synthesis catalyst. Patent RF, no. 2096086, 1997.
- 10 Echevsky G.V., Kodenev E.G. A method for preparing a catalyst and a method for producing isopropylbenzene using this catalyst. Patent RF, no. 2737897, 2020.
- 11 Lakshmanan V.M., Kallingal A., Sreekumar S. Robust control of isopropyl benzene production process using  $H_{\infty}$  loop shaping control scheme. Journal of Control and Decision. 2022. pp. 1-11. doi: 10.1080/23307706.2022.2146009
- 12 Zhu W., Li E., Huang F. Highly selective separation of isopropylbenzene and  $\alpha$ -methylstyrene by nonporous adaptive crystals of perbromoethylated pillararene via vapor-and liquid-phase adsorptions. ACS Applied Materials & Interfaces. 2021. vol. 13. no. 6. pp. 7370-7376. doi: 10.1021/acsami.0c23059
- 13 Pavlov O.S., Pavlov D.S., Pavlov S.Yu. Method for the separation of propene and propane. Patent RF, no. 2296736, 2007.



14 Belov E.A., Belov A.A., Zaripov R.T., Minigulov F.G., Safin D.Kh. Method for separating propylene from propane-propylene fraction. Patent RF, no. 2733380, 2020.

15 Chudinova A.A., Buchatskaya N.I., Podgorniy V.V., Gavrikov A.A. et al. Increase of efficiency isopropylbenzene manufacturing with use of integrated mathematical models. *Petroleum & Coal*. 2016. vol. 58. no. 2.

16 Machado S.W.M., Santana J.C., Pedrosa A.M., Souza M.J. et al. Catalytic cracking of isopropylbenzene over hybrid HZSM-12/M41S (M41S= MCM-41 or MCM-48) micro-mesoporous materials. *Petroleum Science and Technology*. 2018. vol. 36. no. 13. pp. 923-929. doi: 10.1080/10916466.2018.1454950

17 Ai X., Li X., Yu Y., Pan H. et al. The mechanical, thermal, rheological and morphological properties of PLA/PBAT blown films by using bis (tert-butyl dioxy isopropyl) benzene as crosslinking agent. *Polymer Engineering & Science*. 2019. vol. 59. no. S1. pp. E227-E236. doi: 10.1002/pen.24927

18 Jiménez-García G., de Lasa H., Maya-Yescas R. Simultaneous estimation of kinetics and catalysts activity during cracking of 1, 3, 5-tri-isopropyl benzene on FCC catalyst. *Catalysis Today*. 2014. vol. 220. pp. 178-185. doi: 10.1016/j.cattod.2013.10.026


19 Zeynalov E.B., Nagiyev Y.M., Magerramova M.Y. Investigation of catalytic properties of nano-particulated titanium dioxide in oxidation of isopropylbenzene. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2016. no. 1. pp. 97-101.

20 Vovdenko M.K., Gabitov S.A., Koledina K.F., Ahmerov E.A. et al. Mathematical modeling of isopropylbenzene oxidation reaction and oxidation reactor. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2018. vol. 1096. no. 1. pp. 012189. doi: 10.1088/1742-6596/1096/1/012189


#### Сведения об авторах

**Сергей В. Лошманов** магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

**Сергей В. Попов** к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>


**Оксана В. Хабибрахманова** к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>


#### Information about authors

**Sergey V. Loshmanov** master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

**Sergey V. Popov** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

**Oksana V. Khabibrakhmanova** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

#### Вклад авторов

**Сергей В. Лошманов** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, разработал модели и провел вычислительный эксперимент

**Сергей В. Попов** разработал модели и провел вычислительный эксперимент

**Оксана В. Хабибрахманова** обзор литературных источников по исследуемой проблеме

#### Contribution

**Sergey V. Loshmanov** review of the literature on an investigated problem, developed models and conducted a computational experiment

**Sergey V. Popov** developed models and conducted a computational experiment

**Oksana V. Khabibrakhmanova** review of the literature on an investigated problem

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 13/10/2022	После редакции 04/11/2022	Принята в печать 28/11/2022
Received 13/10/2022	Accepted in revised 04/11/2022	Accepted 28/11/2022

## Разработка программного обеспечения верхнего уровня системы управления процессом получения бентонит-содержащих биполярных мембран

Сабухи И. Нифталиев	<sup>1</sup>	<a href="mailto:sabukhi@gmail.com">sabukhi@gmail.com</a>	 0000-0001-7887-3061
Ольга А. Козадерова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kozaderova-olga@mail.ru">kozaderova-olga@mail.ru</a>	 0000-0002-8135-5801
Андрей В. Иванов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:andrious@rambler.ru">andrious@rambler.ru</a>	 0000-0002-6034-9672
Иван А. Козенко	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kosenko211986@mail.ru">kosenko211986@mail.ru</a>	 0000-0002-1508-9875
Ксения Б. Ким	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kmkseniya@yandex.ru">kmkseniya@yandex.ru</a>	 0000-0001-5564-8267
Максим С. Игумнов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:igumnov98.wot@mail.ru">igumnov98.wot@mail.ru</a>	 0000-0002-0856-2273

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

**Аннотация.** Рассмотрен подход к автоматизации технологического процесса получения бентонит-содержащих ионообменных биполярных мембран. Приведены структуры автоматизированных систем, как с использованием локальных средств автоматизации, так и с применением промышленных контроллеров и рабочих станций. Описаны достоинства и недостатки каждой из структур. Предложена двухуровневая система управления с использованием датчиков, исполнительных механизмов и промышленного контроллера на нижнем уровне и рабочей станции на верхнем. Реализована схема комплекса технических средств. Разработана информационная модель программного обеспечения верхнего уровня системы управления, учитывающая особенности технологического процесса. Описана диаграмма потоков данных и предложены принципы функционирования программного обеспечения верхнего уровня. На языке C++ разработан программный модуль, предназначенный как для расчета управляющих воздействий для нижнего уровня управления, так и для моделирования периодического лабораторного биполярного электролиза раствора сульфата натрия с экспериментальными бентонит-содержащими биполярными мембранами для получения кислоты и щелочи. В ходе работы программного модуля возможно проследить зависимость технологических параметров электролиза (потока ионов, выхода по току, энергетических затрат на производство целевого продукта) от вида используемого модификатора бентонита (алкилдиметилбензиламмония хлорида (ПАВ) и стеариновой кислоты) и его количества в мембранах (1, 2, 3% по мас.) при различной плотности тока. Программный модуль может быть использован в действующих производствах в рамках функционирующих АСУТП с целью оптимизации режимных параметров при управлении процессами электролиза.

**Ключевые слова:** электролиз, биполярная мембрана, модифицирование, бентонит, сульфат натрия, автоматизация, система управления, промышленный контроллер, рабочая станция.

## Development of top-level software for the process control system for bentonite-containing bipolar membranes

Sabukhi I. Niftaliev	<sup>1</sup>	<a href="mailto:sabukhi@gmail.com">sabukhi@gmail.com</a>	 0000-0001-7887-3061
Olga A. Kozaderova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kozaderova-olga@mail.ru">kozaderova-olga@mail.ru</a>	 0000-0002-8135-5801
Andrey V. Ivanov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:andrious@rambler.ru">andrious@rambler.ru</a>	 0000-0002-6034-9672
Ivan A. Kozenko	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kosenko211986@mail.ru">kosenko211986@mail.ru</a>	 0000-0002-1508-9875
Kseniya B. Kim	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kmkseniya@yandex.ru">kmkseniya@yandex.ru</a>	 0000-0001-5564-8267
Maksim S. Igumnov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:igumnov98.wot@mail.ru">igumnov98.wot@mail.ru</a>	 0000-0002-0856-2273

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

**Abstract.** An approach to automating the technological process of obtaining bentonite-containing ion-exchange bipolar membranes is considered. The structures of automated systems are given, both with the use of local automation tools, and with the use of industrial controllers and workstations. The advantages and disadvantages of each of the structures are described. A two-level control system with the use of sensors, actuators, and an industrial controller at the lower level and a workstation at the upper level is suggested. The scheme of the complex of technical means is implemented. The information model of the upper level software of the control system taking into account the peculiarities of the technological process is developed. The data flow diagram is described and functioning principles of the upper level software are proposed. A software module, that is designed both to calculate control actions for the lower control level and to simulate periodic laboratory bipolar electroanalysis of a sodium sulfate solution with experimental bentonite-containing bipolar membranes to produce acid and alkali, has been developed in C++. During the operation of the software module, it is possible to trace the dependence of technological parameters of electroanalysis (ion flux, current efficiency, energy costs for the production of the target product) on the type of bentonite modifier used (alkyldimethylbenzylammonium chloride (surfactant) and stearic acid) and its quantity in membranes (1, 2, 3% wt.) at different current densities. The software module can be used in existing industries within the framework of functioning process control systems in order to optimize operating parameters during control of electroanalysis processes.

**Keywords:** electroanalysis, bipolar membrane, modification, bentonite, sodium sulfate, automation, control system, industrial controller, workstation.

### Для цитирования

Нифталиев С.И., Козадерова О.А., Иванов А.В., Козенко И.А., Ким К.Б., Игумнов М.С. Разработка программного обеспечения верхнего уровня системы управления процессом получения бентонит-содержащих биполярных мембран // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 165–173. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-165-173

### For citation

Niftaliev S.I., Kozaderova O.A., Ivanov A.V., Kozenko I.A., Kim K.B., Igumnov M.S. Development of top-level software for the process control system for bentonite-containing bipolar membranes. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 165–173. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-165-173

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



## Введение

Электродиализ с биполярными мембранами – один из наиболее быстро развивающихся мембранных методов конверсии промышленных растворов в кислоты и щелочи [1, 2]. В настоящее время на отечественном рынке представлен достаточно небольшой ассортимент коммерчески доступных биполярных мембран. Актуальной задачей науки и промышленности является улучшение свойств уже имеющихся мембран и получение новых биполярных мембран [3, 4].

В работах [5–7] исследованы характеристики электродиализа раствора сульфата натрия с экспериментальными образцами бентонит-содержащих биполярных ионообменных мембран. Результаты исследования показывают перспективность использования этих мембран для конверсии солевых растворов.

В настоящей работе рассмотрен вариант автоматизации технологической схемы получения экспериментальных бентонит-содержащих биполярных мембран, описанной в [6].

При разработке автоматизированной системы управления может быть использовано несколько вариантов [8, 9]:

- применение локальных средств регулирования в автоматическом режиме. В этом случае управление процессом контролируется локальными регуляторами. Задание локальным регуляторам выставляет технолог. Для этого действующую схему управления необходимо модернизировать, так как в ней будут использоваться современные локальные средства автоматического управления. Описанный метод достаточно простой, однако он не всегда позволяет проводить процесс в оптимальном режиме по одному из выбранных критериев, реализовать адаптацию в системе управления технически сложно, к тому же это экономически не выгодно. Надежность системы определяется надежностью локальных средств управления;

- применение супервизорного режима. Управление также осуществляется локальными средствами, но задание регуляторам выдает вычислительная машина, рассчитывающая настройки регуляторов на основе математической модели процесса. В этом случае появляется возможность оптимизации процесса по одному из выбранных критериев. Степень надежности системы управления процессом низкая и определяется надежностью локальных средств управления. Машина, которая ведет расчет, должна иметь среднюю производительность и надежность;

- применение вычислительной машины в режиме непосредственного цифрового управления. На первом этапе происходит сбор информации от первичных датчиков-преобразователей, на основе математической модели процесса рассчитываются оптимальные управляющие воздействия,

после чего вычислительная машина отправляет задание на исполнительные устройства. Степень надежности системы управления процессом определяется надежностью управляющей вычислительной машины, каналов связи машины с оборудованием. В этом случае необходимо ставить промышленную рабочую станцию, имеющую высокую производительность и надежность;

- применение управляющего вычислительного комплекса с использованием регулирующего микроконтроллера на нижнем уровне. Сначала необходимо собрать информацию от датчиков, далее по установленным алгоритмам формируются управляющие воздействия, которые направляются на исполнительные устройства и рабочую станцию на верхнем уровне. Рабочая станция решает задачи оптимального адаптивного управления технологическим процессом с использованием математической модели процесса, рассчитывает основные параметров процесса (рисунок 1).

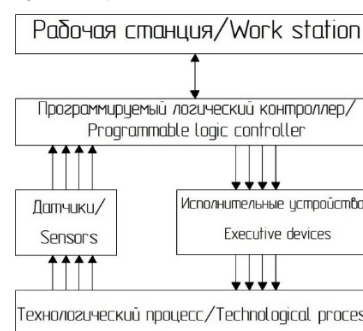


Рисунок 1. Схема комплекса технических средств  
Figure 1. Scheme of a complex of technical means

Предлагаемые варианты реализации систем управления отличаются оперативностью управления. Первые три варианта представляют собой начальные этапы цифровизации производства. Оценивая результаты их работы, можно выделить следующие отрицательные стороны их реализации [10]:

- недостаточное использование или не использование управляющего вычислительного комплекса в режиме непосредственного цифрового управления;
- сложность организации непосредственного управления технологическими объектами из-за большой удаленности последних от устройств управления;
- длительные сроки создания систем, соизмеримые со сроками морального старения технических решений;
- большие затраты на разработку и освоение программных из-за не унифицированности;
- невозможность постепенного внедрения систем;
- низкая выживаемость.

Анализ работы автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), постановка и разработка новых задач управления; появление новых информационных технологий, в первую очередь микропроцессорной, позволили перейти к созданию распределенных систем управления, качественно отличающихся от АСУТП первого поколения. В связи с этим последний вариант является наиболее предпочтительным.

Для реализации такой системы управления необходимо осуществить подбор и настройку как технического обеспечения, так и необходимо разработать программную составляющую управления процессом.

### Материалы и методы

Первым этапом создания программного обеспечения верхнего уровня системы управления является создание информационной модели, для реализации которой использована методология структурного анализа и проектирования (методология SADT) [11–14]. Данная методологии основывается на международном стандарте IDEF0 (Icam DEFinition), рекомендованным Госстандартом РФ, и используется в качестве стандарта для разработки программного обеспечения [15–16]. Методология IDEF0 основывается на графическом языке описания процессов. Модель в нотации IDEF0 представляет собой совокупность иерархически упорядоченных и взаимосвязанных диаграмм, при этом каждая диаграмма является единицей описания системы и располагается на отдельном листе [5–6].

На рисунке 2 представлена контекстная диаграмма (диаграмма верхнего уровня), которая является вершиной древовидной структуры диаграмм, показывающая назначение системы (основную функцию) и ее взаимодействие с внешней средой.

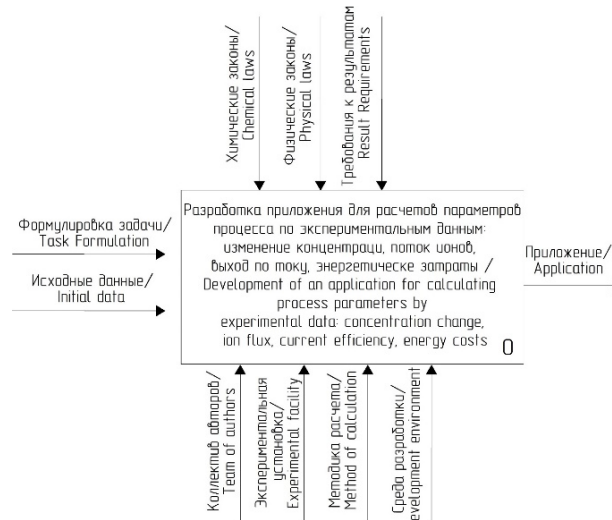


Рисунок 2. Контекстная диаграмма IDEF0

Figure 2. IDEF0 Context Diagram

Входами данной диаграммы являются технические требования к свойствам получаемой мембраны (формулировка задачи) и текущие значения технологических параметров процесса (исходные данные). Управляющими данными являются химические и физические законы и требования к результатам. Для повышения эффективности программного обеспечения и увеличения его быстродействия в качестве ресурсов диаграммы, в данной работе предложено использовать четыре механизма – коллектив авторов, обладающих знаниями и опытом работ; наличие экспериментальной установки; методика расчета параметров диаграммы и среда разработки программного обеспечения. В качестве выхода диаграммы будет получено программное приложение управления процессом.

С целью определения последовательности работ при создании программного обеспечения проведем декомпозицию контекстной диаграммы (рисунок 3).

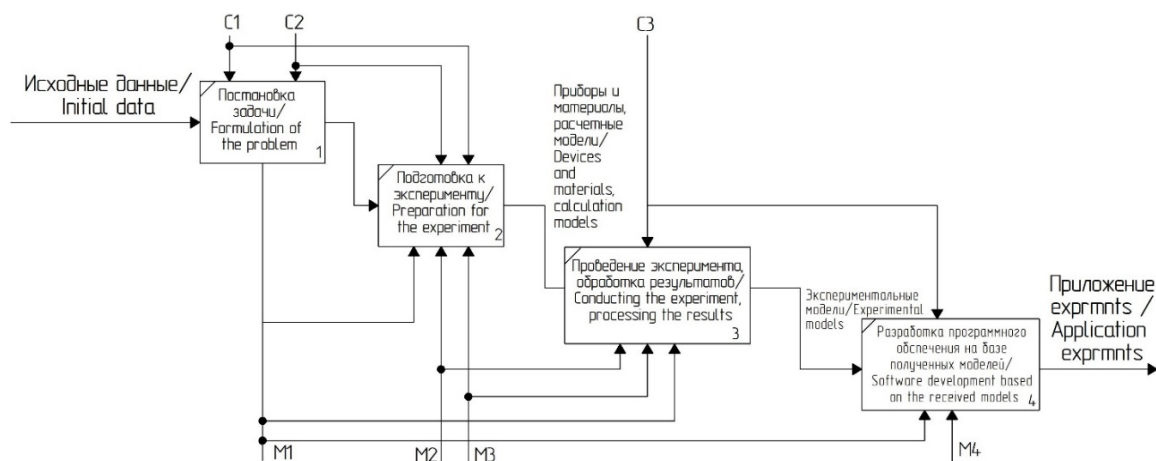


Рисунок 3. Декомпозиция контекстной диаграммы IDEF0

Figure 3. IDEF0 Context Diagram Decomposition

Электродиализ раствора сульфата натрия проводили в электродиализной ячейке (рисунок 4), состоящей из катионообменных (RalexCMH-PP) и анионообменных мембран (Ralex AMH-PP) производства МЕГА, Чехия [17] и одной из исследуемых биполярных мембран. Экспериментальную биполярную мембрану изготавливали путем нанесения на анионообменную мембраны МА-41 жидкого сульфокатионообменника, содержащего бентонитовые глины [5–6]. Также было исследовано влияние различных гидрофобизаторов – алкилдиметилбензиламмония хлорида (ПАВ) и стеариновой кислоты – на свойства экспериментальных мембран [7].

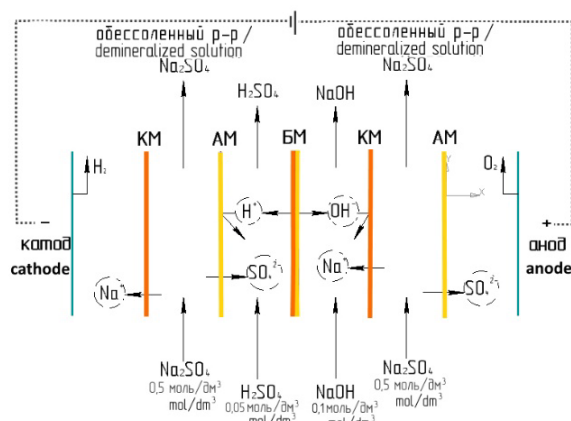


Рисунок 4. Схема биполярного электродиализа сульфата натрия: КМ – катионообменная мембрана, АМ – анионообменная мембрана, БМ – исследуемая биполярная мембрана

Figure 4. Scheme of bipolar electrodiolysis of sodium sulfate: KM – cation exchange membrane, AM – anion exchange membrane, BM – investigated bipolar membrane

Исследуемые биполярные мембраны маркировались следующим образом:

- ВТ0% – биполярная ионообменная мембрана, не содержащая частицы бентонита;
- ВТ1%, ВТ2%, ВТ3% – биполярная ионообменная мембрана, в катионообменный слой которой был добавлен бентонит 1, 2 и 3% (по мас.) соответственно;
- АВ1%, ПАВ2%, ПАВ3% – биполярная ионообменная мембрана, в катионообменный слой которой был добавлен 1, 2 и 3% (по мас.) бентонита, обработанного ПАВ, соответственно;
- СТ1%, СТ2%, СТ3% – биполярная ионообменная мембрана, в катионообменный слой которой был добавлен 1, 2 и 3% (по мас.) бентонита, обработанного стеариновой кислотой, соответственно.

В работах [5–7] подробно рассмотрены методика проведения эксперимента и получены зависимости для расчета параметров мембран.

## Результаты

Поскольку разрабатываемое программное обеспечение направлено на автоматизацию процедур расчета и моделирования параметров и свойств мембран, а также расчета режимных параметров технологического процесса необходимо упорядочить все расчеты, обеспечить поступление исходных данных во все модули программы; предусмотреть хранение промежуточных данных и предусмотреть вывод результатов в виде, удобном для дальнейшего использования. С этой целью разработана диаграмма потоков данных (рисунок 5).

На данной диаграмме первичными потоком данных являются значения силы тока и выбор мембраны. Эти потоки данных поступают в операционные блоки ОР1, ОР2, ОР4 и ОР6. На первом этапе в результате расчетов в блоке ОР1 определяется значения плотности тока. Введенные значения используются для проведения последующих расчетов, а также сохраняются в виде конечных данных и выводятся в виде таблиц или графических зависимостей. Значения плотности тока в виде потока данных поступают на вход операционных блоков ОР2, ОР3 и ОР4. Далее осуществляется расчет потока (выход блока ОР2) и значение напряжения (выход блока ОР4). На основе рассчитанного значения потока операционный блок ОР3 рассчитывает значение выхода по току, а операционный блок ОР5 вычисляет значение  $\Delta C$ . Значение потока сохраняется в качестве выходных данных. На основе рассчитанных значений  $\Delta C$  и ранее рассчитанных значений напряжения по экспериментальным данным в ОР6 осуществляется расчет энергетических затрат. Расчеты осуществляются по следующим зависимостям:

$$j_i = \frac{(C_o - C_i) \cdot V}{\tau \cdot S} \quad (1)$$

$$W = \frac{I \cdot U \cdot \tau}{m} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{(C_o - C_i) \cdot V \cdot F}{\tau \cdot I} \cdot 100 \quad (3)$$

$$\Delta C = C_o - C_i \quad (4)$$

где  $j_i$  – потоки ионов водорода и гидроксидов, генерированных внутри биполярной мембраны, моль/(м<sup>2</sup>·ч);  $C_o$  – исходная концентрация раствора, моль/дм<sup>3</sup>;  $C_i$  – концентрация ионов в исследуемой секции, моль/дм<sup>3</sup>;  $V$  – объем раствора, дм<sup>3</sup>;  $\eta$  – выход по току, %;  $F$  – число Фарадея А·с/моль;  $\tau$  – время, ч;  $W$  – удельные энергозатраты на производство целевого продукта, Вт·ч/кг;  $I$  – сила тока, А;  $U$  – напряжение, В;  $S$  – площадь мембраны, м<sup>2</sup>;  $m$  – масса продукта, кг;  $\Delta C$  – изменение концентрации, моль/дм<sup>3</sup>.

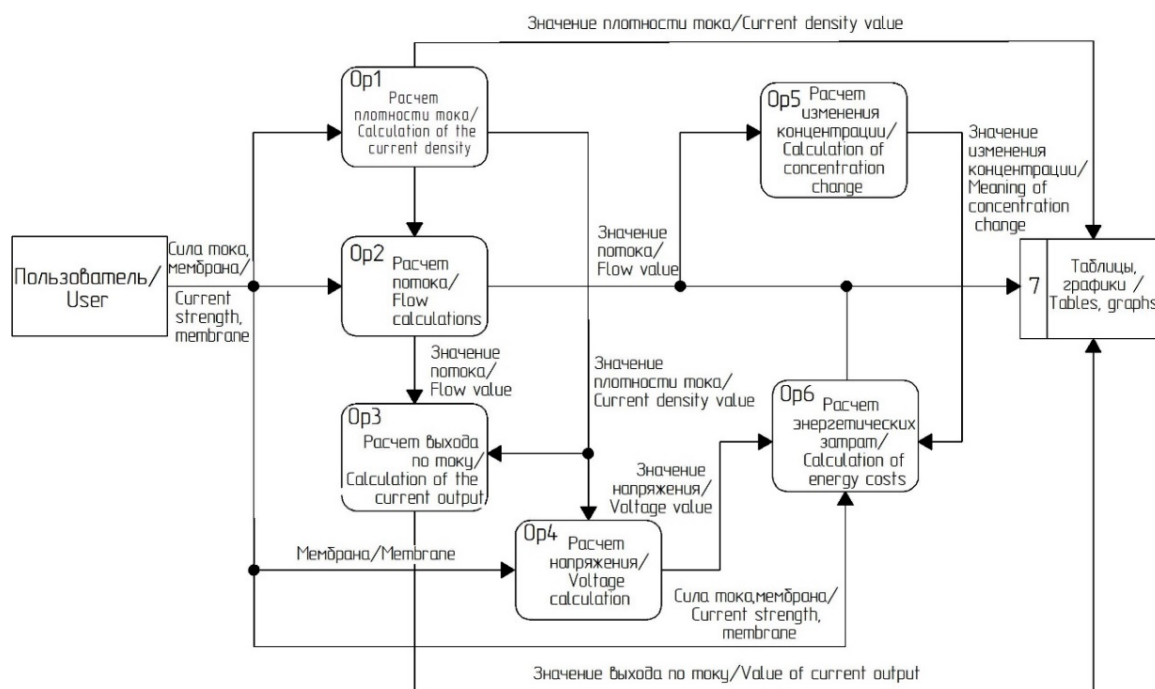


Рисунок 5. Диаграмма потоков данных  
Figure 5. Data Flow Diagram (DFD)

## Обсуждение

Таким образом, полученные значения могут быть использованы для моделирования параметров свойств мембран. Кроме того, они могут быть переданы на нижний уровень управления и выступать в качестве сигнала коррекции хода технологического процесса. На основе вышесказанного, а также с помощью

расчетных зависимостей, на языке C++ разработано приложение для расчета и моделирования характеристик мембран [18].

При входе в приложение пользователю в верхней строке необходимо выбрать, по какому целевому продукту будет вестись расчет: серная кислота ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) или гидроксид натрия ( $\text{NaOH}$ ). Далее слева указать, для каких мембран необходимо произвести расчет и вывести данные (рисунок 6).

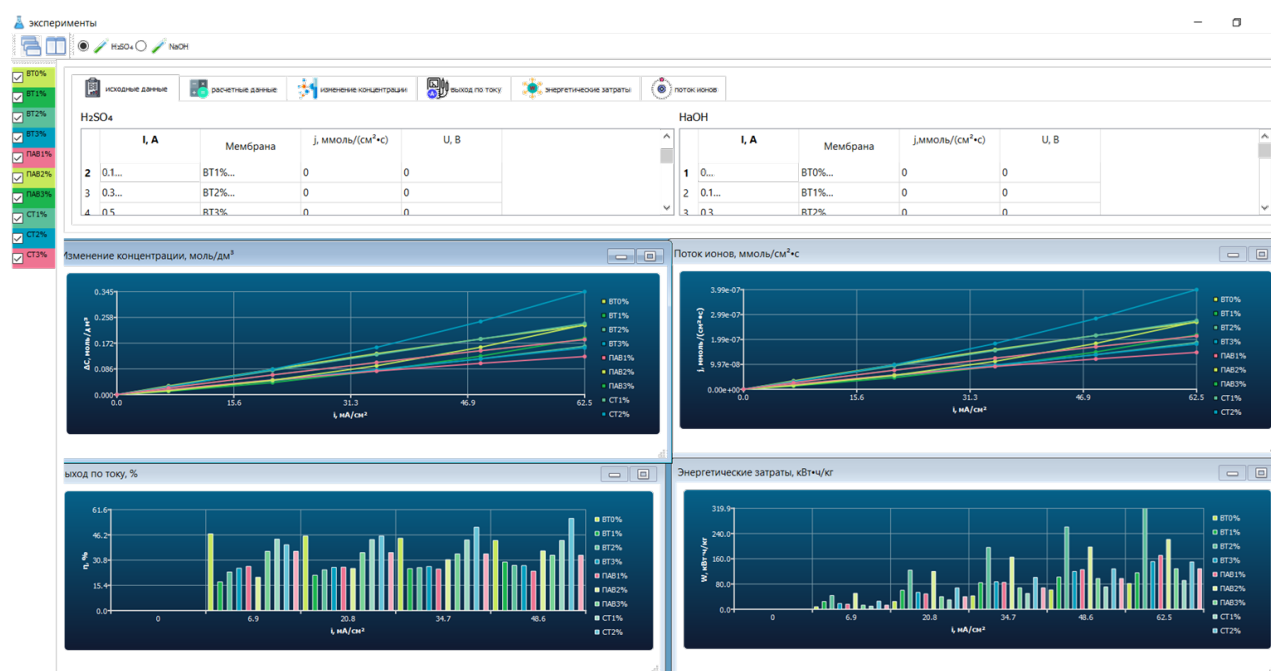


Рисунок 6. Интерфейс программы  
Figure 6. Program interface



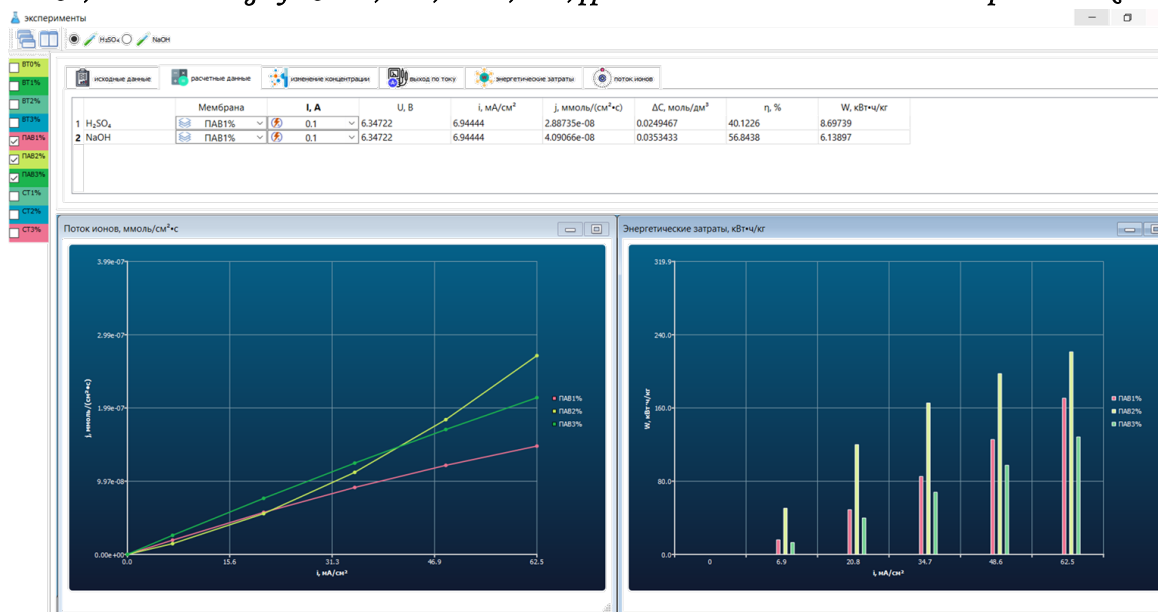


Рисунок 7. Вывод результатов расчета

Figure 7. Calculation results output

В окне «Исходные данные» выводятся начальные параметры процесса.

В отдельном окне «Расчетные данные» пользователь может выбрать мембрану, плотность тока и увидеть расчетные значения по выбранным параметрам в виде таблицы.

В окнах «Изменение концентрации», «Выход по току», «Энергетические затраты», «Поток ионов» приведены зависимости рассчитанного параметра от силы тока для всех исследуемых мембран в виде таблицы. При необходимости можно отдельно вывести графические зависимости для каждой определяемой характеристики процесса от плотности тока, а также выбрать исследуемые мембраны. Например, на рисунке 7 показаны зависимости потока ионов и энергетических затрат от плотности тока, при этом в верхнем углу выбрана кнопка «H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>». Анализ полученных зависимостей показывает, что при добавлении в катионообменный слой 2% по мас. ПАВ увеличивается поток ионов и значительно снижаются энергетические затраты.

Разработанный программный модуль может быть использован в качестве программного

обеспечения верхнего уровня управления разрабатываемой системой.

Работа программы обеспечивается выполнением следующих действий:

- выбор мембраны;
- ввод исходных данных;
- расчет параметров процесса;
- вывод рассчитанных параметров процесса на экран;
- вывод графических зависимостей технологических параметров как функции плотности тока на экран.

Применение данной компьютерной программы позволит моделировать и рассчитывать основные параметры процесса биполярного электролиза, а также прогнозировать дальнейшие эксперименты.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-685.2021.1.3)

### Литература

- 1 Al-Dhubhani E., Pärnamäe R., Post J.W. et. al. Performance of five commercial bipolar membranes under forward and reverse bias conditions for acid-base flow battery applications // J. Memb. Sci. 2021. V. 640. P. 1–12. doi: 10.1016/j.memsci.2021.119748
- 2 Нифталиев С.И., Козадерова О.А., Ким К.Б. Применение биполярного электролиза с модифицированными мембранами при очистке хромсодержащих сточных вод гальванического производства // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 10. С. 4–9. doi: 10.18412/1816-0395-2021-10-4-9
- 3 Козадерова О.А., Нифталиев С.И., Ким К.Б. Применение биполярных мембран МБ-2, модифицированных гидроксидом хрома (III), для конверсии сульфата натрия // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2019. Т. 62. № 3. С. 30–36. doi: 10.6060/ivkkt201962fp.5811
- 4 Kozaderova O.A. Electrochemical characterization of an MB-2 bipolar membrane modified by nanosized chromium (III) hydroxide // Nanotechnologies in Russia. 2018. V. 13. № 9–10. P. 508–515. doi: 10.1134/S1995078018050075

- 5 Kozaderova O.A., Kim K.B., Belousov P.E. et al. Electrodialysis of a sodium sulphate solution with experimental bentonite-modified bipolar membranes // *Condensed Matter and Interphases*. 2021. V. 23. №. 4. P. 518–528. doi: 10.17308/kcmf.2021.23/3670
- 6 Нифталиев С.И., Козадерова О.А., Ким К.Б. и др. Получение бентонит-модифицированных биполярных ионообменных мембран и изучение их электрохимических характеристик // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 3. С. 216–225. doi: 10.20914/2310–1202–2021–3–216–225
- 7 Нифталиев С.И., Козадерова О.А., Ким К.Б. и др. Влияние гидрофобизатора на свойства экспериментальных бентонит-содержащих биполярных мембран // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. № 10. С. 120–127. doi: 10.6060/ivkkt.20226510.6686
- 8 Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Островский Г.М. Интегрированное проектирование энерго-и ресурсосберегающих химико-технологических процессов в системе управления: стратегия, методы и применение // Теоретические основы химической технологии. 2008. Т. 42. № 1. С. 29–30.
- 9 Егوشина О.В., Большакова Н.А. Разработка системы контроля и управления водным режимом с учетом влияния нарушений химико-технологических процессов // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бенардосовские чтения): материалы международной научно-технической конференции. Иваново, 2019. С. 139–141.
- 10 Alekseev M.V., Kudryashov V.S., Gavrilov A.N. et al. Development and research of a digital control system for juice consumption after the diffusion apparatus in sugar production // *International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials (P2ARM 2021)*. 2022. V. 1052. P. 1–7. doi: 10.1088/1755–1315/1052/1/012140
- 11 Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н. и др. Геоинформатика. М.: МАКС Пресс, 2001. 349 с.
- 12 Харазов В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами. СПб.: Профессия, 2009. 592 с.
- 13 Кудряшов В.С., Иванов А.В., Алексеев М.В. и др. Поиск оптимальной тарелки питания колонны ректификации в производстве этилбензола при вариации расхода и состава питания // *Автоматизация в промышленности*. 2022. № 3. С. 32–37. <https://doi.org/10.25728/avtprom.2022.03.05>
- 14 Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 288 с.
- 15 ГОСТ Р ИСО 10303–43–2002. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Ч. 43. Интегрированные обобщенные ресурсы. Представление структур. М.: Госстандарт России, 2003. 12 с.
- 16 ГОСТ Р 50.1.031–2001. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Ч. 1: стадии жизненного цикла продукции. М.: Изд-во стандартов, 2004. 18 с.
- 17 Свойства мембран. URL: <http://www.ralex.eu/Membrany/Uvod.aspx>
- 18 Нифталиев С.И., Козадерова О.А., Ким К.Б., Иванов А.В. и др. Программный модуль для расчета технологических параметров конверсии сульфата натрия с экспериментальными бентонит-модифицированными биполярными мембранами. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022664621. 2022.
- 19 Pärnamäe R., Mareev S., Nikonenko V., Melnikov S. et al. Bipolar membranes: A review on principles, latest developments, and applications // *Journal of Membrane Science*. 2021. V. 617. P. 118538. doi: 10.1016/j.memsci.2020.118538
- 20 Oener S.Z., Foster M.J., Boettcher S.W. Accelerating water dissociation in bipolar membranes and for electrocatalysis // *Science*. 2020. V. 369. №. 6507. P. 1099–1103. doi: 10.1126/science.aaz1487

### References

- 1 Al-Dhubhani E., Pärnamäe R., W. Post J. et al. Performance of five commercial bipolar membranes under forward and reverse bias conditions for acid-base flow battery applications. *J. Memb. Sci.* 2021. vol. 640. pp. 1–12. doi: 10.1016/j.memsci.2021.119748
- 2 Niftaliev S.I., Kozaderova O.A., Kim K.B. Application of bipolar electrodialysis with modified membranes for the purification of chromic wastewater from galvanic production // *Ecology and Industry of Russia*. 2021. vol. 25. no. 10. pp. 4–9. doi: 10.18412/1816–0395–2021–10–4–9 (in Russian).
- 3 Kozaderova O.A., Niftaliev S.I., Kim K.B. Application of bipolar membranes MB-2 modified by chromium (III) hydroxide for sodium sulfate conversion process *ChemChemTech*. 2019. vol. 62. no. 3. pp. 30–36. doi: 10.6060/ivkkt201962fp.5811 (in Russian).
- 4 Kozaderova O.A. Electrochemical characterization of an MB-2 bipolar membrane modified by nanosized chromium (III) hydroxide. *Nanotechnologies in Russia*. 2018. vol. 13. no. 9–10. pp. 508–515. doi: 10.1134/S1995078018050075
- 5 Kozaderova O.A., Kim K.B., Belousov P.E. et al. Electrodialysis of a sodium sulphate solution with experimental bentonite-modified bipolar membranes. *Condensed Matter and Interphases*. 2021. vol. 23. no. 4. pp. 518–528. doi: 10.17308/kcmf.2021.23/3670
- 6 Niftaliev S.I., Kozaderova O.A., Kim K.B. Obtaining bentonite-modified bipolar ion-exchange membranes and study of their electrochemical characteristics. *Proceedings of VSUET*. 2021. vol. 83. no. 3. pp. 216–225. doi: 10.20914/2310–1202–2021–3–216–225 (in Russian).
- 7 Niftaliev S.I., Kozaderova O.A., Kim K.B. et al., Influence of a water repellent on the properties of experimental bentonite-containing bipolar membranes. *ChemChemTech*. 2022. vol. 65. no. 10. pp. 120–127. doi: 10.6060/ivkkt.20226510.6686 (in Russian).
- 8 Dvoretzky D.S., Dvoretzky S.I., Ostrovsky G.M. Integrated design of energy and resource-saving chemical-technological processes in the control system: strategy, methods and application. *Theoretical foundations of chemical technology*. 2008. vol. 42. no. 1. pp. 29–30. (in Russian).
- 9 Egoshina O.V., Bolshakova N.A. Development of a system for monitoring and managing the water regime, taking into account the impact of violations of chemical and technological processes. *Proceedings of the international scientific and technical conference "The state and prospects for the development of electrical and thermal technologies (Benardos readings)"*. Ivanovo. 2019. pp. 139–141. (in Russian).
- 10 Alekseev M.V., Kudryashov V.S., Gavrilov A.N. et al. Development and research of a digital control system for juice consumption after the diffusion apparatus in sugar production. *International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials (P2ARM 2021)*. 2022. vol. 1052. pp. 1–7. doi: 10.1088/1755–1315/1052/1/012140



- 11 Ivannikov A.D., Kulagin V.P., Tikhonov A.N. etc. Geoinformatics. Moscow, MAKS Press, 2001. 349 p. (in Russian).
- 12 Kharazov V.G. Integrated control systems for technological processes. St. Petersburg, Profession, 2009. 592 p. (in Russian).
- 13 Kudryashov V.S., Ivanov A.V., Alekseev M.V. Search for the optimal feed plate of the distillation column in the production of ethylbenzene with variations in the flow rate and composition of the feed. Automation in industry. 2022. no. 3. pp.32–37. doi: 10.25728/avtprom.2022.03.05 (in Russian).
- 14 Tsvetkov V.Ya. Geoinformation systems and technologies. Moscow, Finance and statistics, 1998. 288 p. (in Russian).
- 15 GOST R ISO 10303–43–2002. Production automation systems and their integration. Presentation of product data and exchange of this data. Part 43. Integrated generalized resources. Representation of structures. Moscow, Gosstandart of Russia, 2003. 12p. (in Russian).
- 16 GOST R 50.1.031–2001. Recommendations for standardization. Information technologies for product life cycle support. Terminological dictionary. Part 1: stages of the product life cycle. Moscow, Publishing house of standards, 2004. 18p. (in Russian).
17. Properties of membranes. Available at: <http://www.ralex.eu/Membrany/Uvod.aspx> (in Russian).
- 18 Niftaliev S.I., Kozaderova O.A., Kim K.B., Ivanov A.V. et al. Software module for calculating technological parameters of sodium sulfate conversion with experimental bentonite-modified bipolar membranes. Certificate of state registration of the computer program. no. 2022664621. 2022. (in Russian).
- 19 Pärnamäe R., Mareev S., Nikonenko V., Melnikov S. et al. Bipolar membranes: A review on principles, latest developments, and applications. Journal of Membrane Science. 2021. vol. 617. pp. 118538. doi: 10.1016/j.memsci.2020.118538
- 20 Oener S.Z., Foster M.J., Boettcher S.W. Accelerating water dissociation in bipolar membranes and for electrocatalysis. Science. 2020. vol. 369. no. 6507. pp. 1099–1103. doi: 10.1126/science.aaz1487

## Сведения об авторах

**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, [sabukhi@gmail.com](mailto:sabukhi@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

**Ольга А. Козадерова** д.х.н., профессор, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [kozaderova-olga@mail.ru](mailto:kozaderova-olga@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-8135-5801>

**Андрей В. Иванов** к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [andrious@rambler.ru](mailto:andrious@rambler.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-6034-9672>

**Иван А. Козенко** к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [kosenko211986@mail.ru](mailto:kosenko211986@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-1508-9875>

**Ксения Б. Ким** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [kmkseniya@yandex.ru](mailto:kmkseniya@yandex.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-5564-8267>

**Максим С. Игумнов** студент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [igumnov98.wot@mail.ru](mailto:igumnov98.wot@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-0856-2273>

## 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

**Sabukhi I. Niftaliev** Dr. Sci. (Chem.), professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [sabukhi@gmail.com](mailto:sabukhi@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

**Olga A. Kozaderova** Dr. Sci. (Chem.), professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation, avenue Revolution, 19, Voronezh, 394036, Russia, [kozaderova-olga@mail.ru](mailto:kozaderova-olga@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-8135-5801>

**Andrey V. Ivanov** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation, avenue Revolution, 19, Voronezh, 394036, Russia, [andrious@rambler.ru](mailto:andrious@rambler.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-6034-9672>

**Ivan A. Kozenko** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation, avenue Revolution, 19, Voronezh, 394036, Russia, [kosenko211986@mail.ru](mailto:kosenko211986@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-1508-9875>

**Kseniya B. Kim** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation, avenue Revolution, 19, Voronezh, 394036, Russia, [kmkseniya@yandex.ru](mailto:kmkseniya@yandex.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-5564-8267>

**Максим С. Игумнов** Student, Department of Inorganic Chemistry and Chemical Technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation, avenue Revolution, 19, Voronezh, 394036, Russia, [igumnov98.wot@mail.ru](mailto:igumnov98.wot@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-0856-2273>

## 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.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.			The authors declare no conflict of interest.		
Поступила 19/09/2022		После редакции 25/10/2022		Принята в печать 22/11/2022	
Received 19/09/2022		Accepted in revised 25/10/2022		Accepted 22/11/2022	

## Оптимизация содержания изобутана в сырьевом потоке установки сернокислотного алкилирования изобутана олефинами



Александр А. Жадяев	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	
Сергей В. Попов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:svpopov2018@ya.ru">svpopov2018@ya.ru</a>	 0000-0003-0533-9049
Оксана В. Хабибрахманова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	 0000-0002-1523-9861
Дарья Е. Балабашкина	<sup>1</sup>		

<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Мironova, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

**Аннотация.** Сырьевыми потоками промышленного производства мото- и авиа-алкилатов являются изобутановая и бутан-бутиленовая фракции, содержащие в своём составе инертный для реакции сернокислотного алкилирования изобутана олефины компонент – н-бутан. В соответствии с Техническими условиями ТУ 0272-024-00151638-99 содержание н-бутана в изобутановой фракции в зависимости от марки фракции составляет 0,7÷20%мас. Его присутствие уменьшает полезный реакционный объём реактора алкилирования, а при разделении компонентов реакционной массы алкилирования необходимо использование ректификационной колонны (дебутанизатор). Рассматривается возможность включения в технологическую схему дополнительной колонны для вывода н-бутана из состава фракции (соответственно концентрирования изобутана) до её подачи в реактор алкилирования. Особое значение это имеет для фракций с маркой ниже «Высшая марка». Исследование проводится с использованием программной системы Honeywell UniSim Design. Для расчета свойств компонентов технологических потоков использовали метод Peng-Robinson. Рассчитано теоретически оптимальное оформление аппарата: при использовании ректификационной колонны с давлением в аппарате порядка 400 кПа для уменьшения содержания н-пропана в дистилляте (получаемая изобутановая фракция) до 0,001 мол.доля и содержания изобутана в кубе (получаемая н-бутановая фракция) 0,001 мол.доля потребуется 48 теоретических тарелок, принятое флегмовое число  $R=8,9$ , температуры в конденсаторе и ребойлере 26,88 и 47,27 °C соответственно. Вычислительным экспериментом показано, что для достижения в получаемой изобутановой фракции практического отсутствия н-бутана (концентрация порядка 0.1%мас.) возможно использование ректификационной колонны со следующими технологическими режимами: число тарелок 60, тарелка питания 15, эффективность контактных устройств 0,8; давление в колонне порядка 400 кПа, температура в конденсаторе и ребойлере  $T_k=28,91\div29,05$  °C и  $T_p=46,72\div47,25$  °C соответственно, флегмовое число  $R=20,41$ . В этой фракции также нет пентанов.

**Ключевые слова:** алкилирование, изобутан, олефины, изобутановая фракция, бутан-бутиленовая фракция, ректификационная колонна, моделирование, Honeywell UniSim Design.

## Optimization of the content of isobutane in the feed stream of the plant for sulfuric acid alkylation of isobutane with olefins

Alexander A. Zhadyaev	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	
Sergey V. Popov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:svpopov2018@ya.ru">svpopov2018@ya.ru</a>	 0000-0003-0533-9049
Oksana V. Khabibrakhmanova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	 0000-0002-1523-9861
Daria E. Balabashkina	<sup>1</sup>		

<sup>1</sup> Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

**Abstract.** The raw materials for the industrial production of moto- and air-alkylates are isobutane and butane-butylene fractions containing in their composition a component, n-butane, which is inert for the reaction of sulfuric acid alkylation of isobutane with olefins. In accordance with the Specifications TU 0272-024-00151638-99, the content of n-butane in the isobutane fraction, depending on the grade of the fraction, is 0.7÷20% wt. Its presence reduces the useful reaction volume of the alkylation reactor, and when separating the components of the alkylation reaction mass, it is necessary to use a distillation column (debutanizer). The possibility of including an additional column in the technological scheme for removing n-butane from the composition of the fraction (respectively, isobutane concentration) before it is fed into the alkylation reactor is being considered. This is of particular importance for fractions with a brand below "High Brand". The study is conducted using the Honeywell UniSim Design software system. The Peng-Robinson method was used to calculate the properties of process stream components. The theoretically optimal design of the apparatus was calculated: when using a distillation column with a pressure in the apparatus of about 400 kPa to reduce the content of n-propane in the distillate (obtained isobutane fraction) to 0.001 mol. the share will require 48 theoretical plates, the accepted reflux ratio  $R = 8.9$ , the temperatures in the condenser and reboiler are 26.88 and 47.27 °C, respectively. A computational experiment has shown that in order to achieve the practical absence of n-butane in the obtained isobutane fraction (concentration of about 0.1% wt.), it is possible to use a distillation column with the following technological modes: the number of plates is 60, the feed plate is 15, the efficiency of contact devices is 0.8; the pressure in the column is about 400 kPa, the temperature in the condenser and reboiler is  $T_k=28.91\div29.05$  °C and  $T_p=46.72\div47.25$  °C, respectively, reflux ratio  $R=20.41$ . This fraction also does not contain pentanes.

**Keywords:** alkylation, isobutane, olefins, isobutane fraction, butane-butylene fraction, distillation column, modeling, Honeywell UniSim Design

Для цитирования

Жадяев А.А., Попов С.В., Хабибрахманова О.В., Балабашкина Д.Е. Оптимизация содержания изобутана в сырьевом потоке установки сернокислотного алкилирования изобутана олефинами // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 173–177. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-173-177

For citation

Zhadyaev A.A., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V., Balabashkina D.E. Optimization of the content of isobutane in the feed stream of the plant for sulfuric acid alkylation of isobutane with olefins. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 173–177. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-173-177

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

## Введение

Важной задачей в нефтеперерабатывающей отрасли служит получение моторного топлива высокого качества. Это обусловлено ужесточением экологических требований, предъявляемых к топливам, и совершенствованием двигателей внутреннего сгорания [1].

Среди вторичных процессов нефтепереработки большое внимание уделяется установкам алкилирования изобутана олефинами [1–2]. Исследования по совершенствованию процесса проводятся в различных направлениях, затрагивающих кинетические закономерности процесса и используемые катализаторы, его технологическое и аппаратное оформление и другое. В частности, возможности использования различных катализаторов систематизируются в работах [3, 4], изменения в конструкции реакторов алкилирования изобутана предлагаются в патентах, а в исследованиях описываются преимущества использования для алкилирования каскада из двух реакторов, в которых серная кислота циркулирует в общем или автономных контурах и отделяется из реакционной массы алкилирования после её выхода из реакторов. Включение в технологическую схему дополнительных массообменных аппаратов позволяет выделить из дистиллятов депропанизатора и дебутанизатора [5] изобутансодержащую фракцию. В работах [6–8] для улучшения достигаемых показателей работы установок проводится их математическое моделирование.

**Цель работы** – изучение промышленного процесса сернокислотного алкилирования изобутана олефинами для повышения содержания изобутана в сырьевом потоке (изобутановой фракции) до показателей, улучшающих соответствующие показатели нормы «Высшая марка» по ТУ 0272–024–00151638–99 [9], выводом н-бутана из состава фракции.

## Методы

Сырьевыми потоками промышленного производства мото- и авиа-алкилатов являются изобутановая и бутан-бутиленовая фракции, содержащие в своём составе инертный для реакции сернокислотного алкилирования изобутана олефинами компонент – н-бутан [10, 11]. В соответствии с Техническими условиями ТУ 0272–024–00151638–99 содержание н-бутана в изобутановой фракции в зависимости от марки фракции составляет от 0,7% мас. (для «Высшей марки») до 5÷20% мас. (для «Марки В»). Его присутствие уменьшает полезный реакционный объём реактора алкилирования, а при разделении компонентов реакционной массы алкилирования необходимо использование ректификационной колонны (дебутанизатор).

С целью концентрирования изобутана в составе изобутановой фракции целесообразна оценка возможности включения в технологическую схему дополнительной колонны для вывода н-бутана из состава фракции (соответственно концентрирования изобутана) до её подачи в реактор алкилирования. Особенное значение это имеет для фракций с маркой ниже «Высшая марка».

Исследование проводится с использованием программной системы Honeywell UniSim Design, для расчета свойств компонентов технологических потоков использовали метод Peng-Robinson [12]. Компонентный состав технологических потоков: пропилен, пропан, изобутен, 1-бутен, транс-бутен, цис-бутен, изобутан, н-бутан, изопентан и н-пентан.

## Результаты и обсуждение

Для рассмотрения возможности существенного снижения содержания н-бутана в изобутановой фракции на рисунке 1 в координатах «давление-температура» приведены кривые кипения и конденсации для рассматриваемой смеси углеводородов. Близкое расположение кривых указывает на возможные технические особенности для разделения компонентов смеси, которые потребуют использование ректификационной колонны с возможно большим числом тарелок и флегмовым числом.

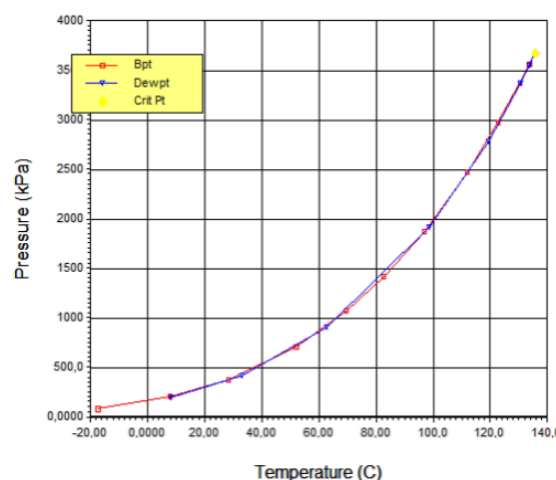


Рисунок 1. Кривые кипения и конденсации смеси компонентов изобутановой фракции (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 1. Evaporation and condensation curves of a mixture of isobutane components (printout from Honeywell UniSim Design)

Для оценки технологических режимов и конструкционных параметров ректификационной колонны концентрирования изобутана выводом из сырьевого потока н-бутана было рассчитано теоретически оптимальное оформление аппарата. Расчеты показали, что при использовании ректификационной колонны с давлением в аппарате порядка 400 кПа для уменьшения

содержания н-пропана в дистилляте (получаемая изобутановая фракция) до 0,001 мол. доля и содержания изобутана в кубе (получаемая н-бутановая фракция) 0,001 мол. доля потребуются 48 теоретических тарелок (актуальное число тарелок 60, тарелка питания 15), принятое флегмовое число  $R = 8,9$ , температуры в конденсаторе и ребойлере 26,88 и 47,27 °C соответственно.

Для проведения вычислительного эксперимента использовали следующие конструкционные параметры колонны: число тарелок  $N_t = 60$ , тарелка питания  $N_{пит} = 15$ , эффективность контактного устройства 0,8 (предполагается использование клапанных тарелок). На рисунке 2 показана схема моделируемой ректификационной колонны.

На питание колонны **КРдоп-2** поступает изобутановая фракция (поток **фр\_i-C4-2**). В качестве дистиллята отбирается поток **фр\_i-C4наP**, в котором практически не содержится н-бутан (его концентрация порядка 0,1% мас.). Основным компонентом кубового продукта (поток **фр\_n-C4**) является н-бутан (94% мас.), здесь также присутствуют пентаны, которых нет в дистилляте. Значения технологических режимов и компонентный состав потоков колонны **КРдоп-2** приведены в таблице 1 (оценка флегмового числа  $R = 20,41$ ), температурный профиль по высоте колонны показан на рисунке 3а. Отметим, что для

достижения рассчитанных показателей работы колонны в промышленных условиях необходимо обеспечить указанный температурный профиль.

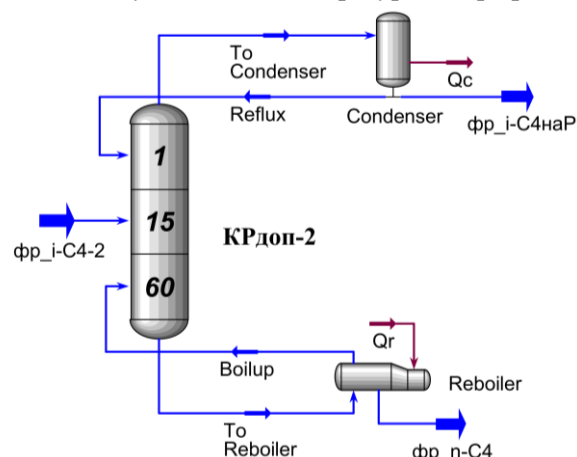


Рисунок 2. Ректификационная колонна **КРдоп-2** (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 2. Distillation column **KRdop-2** (printout in Honeywell UniSim Design)

Как отмечено выше, для использования в промышленных условиях характеристики изобутановой фракции регламентируются нормами по ТУ 0272-025-00151638-99. Для «Высшей марки» необходимо содержание изобутана не менее 98% мас. и не более 0,7% мас. н-бутана.

Таблица 1.

Значения технологических режимов (а) и компонентный состав потоков (б) колонны **КРдоп-2** (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 1.

Values of technological regimes (a) and component composition of flows (b) of the **КРдоп-2** column (printout in Honeywell UniSim Design)

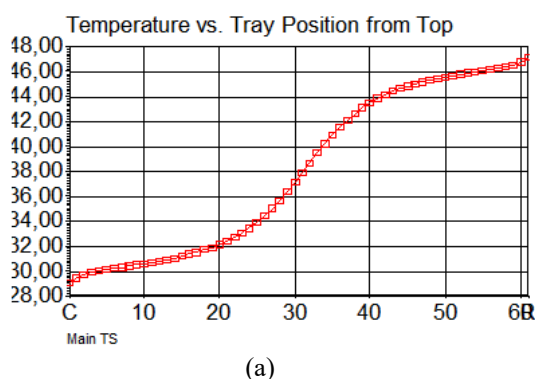
Name	фр_i-C4-2	фр_n-C4-2	фр_i-C4наP-2
Vapour	0,0000	0,0000	0,0000
Temperature [C]	21,20	47,25	29,05
Pressure [kPa]	882,6	450,0	400,0
Molar Flow [kgmole/h]	896,2	57,14	839,0
Mass Flow [kg/h]	5,194e+004	3340	4,860e+004
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	92,28	5,704	86,57
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,537e+005	-1,417e+005	-1,532e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	83,45	62,47	87,50
Heat Flow [kJ/h]	-1,378e+008	-8,098e+006	-1,285e+008

(a)

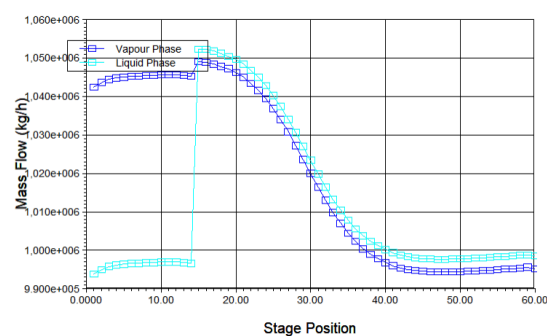
	фр_i-C4-2	фр_n-C4-2	фр_i-C4наP-2
Propene	0,000000	0,000000	0,000000
Propane	0,013147	0,000000	0,014042
i-Butene	0,000783	0,000025	0,000834
1-Butene	0,000783	0,000252	0,000819
tr2-Butene	0,001029	0,015128	0,000069
cis2-Butene	0,001029	0,016080	0,000004
i-Butane	0,920614	0,001002	0,983238
n-Butane	0,060834	0,939563	0,000994
i-Pentane	0,000978	0,015342	0,000000
n-Pentane	0,000804	0,012609	0,000000

(b)





(a)



(b)

Рисунок 3. Температурный профиль (a) и расходы паровой и жидкой фаз (b) по высоте колонны КРдоп

Figure 3. Temperature profile (a) and flow rates of the vapor and liquid phases (b) along the height of the column КРдоп

Сравнение концентрации компонентов в получаемой изобутановой фракции (таблица 1b) с соответствующим составом для фракции «Вышей марки» показывает, что при рассчитанных технологических режимах достигается уменьшение содержания (практическое отсутствие) н-бутана до 0,1% мас. при его содержании в исходной сырьевой фракции 0,7÷20% мас. Как следствие, поступление получаемой изобутановой фракции устойчивого компонентного состава в реактор алкилирования обеспечит достижение достаточно постоянных характеристик алкилата.

Таблица 2.

Конструкционные параметры колонны КРдоп-2 (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 2.

Structural parameters of the КРдоп-2 column (printout in Honeywell UniSim Design)

Tray Results		
Section	Section_1	Section_2
Internals	Valve	Valve
Section Diameter [m]	3,658	3,658
Max Flooding [%]	76,03	79,88
X-Sectional Area [m2]	10,51	10,51
Section Height [m]	7,000	20,70
Section DeltaP [kPa]	8,521	26,69
Number of Flow Paths	3	3
Flow Length [mm]	977,9	977,9
Flow Width [mm]	3094	3094
Max DC Backup [%]	42,55	47,98
Max Weir Load [m3/h-m]	40,29	42,54
Max DP/Tray [kPa]	0,612	0,612
Tray Spacing [mm]	500,0	450,0
Total Weir Length [mm]	8765	8765
Weir Height [mm]	50.80	50.80

Анализ рассчитанного расхода паровой и жидкой фаз по высоте аппарата (рисунок 3b) совместно с оценкой конструкционных параметров колонны КРдоп-2, приведенной в таблице 2, показывает, что возможно использование колонны с одинаковым диаметром в её исчерпывающей и укрепляющей частях.

### Заключение

Анализ состава изобутановой фракции различных марок, используемой в промышленности на установках получения алкилатов, показывает на содержание в ней инертного для реакции алкилирования изобутана бутиленами компонента – н-бутана в количестве 0,7÷20% мас.

Включение в технологическую схему дополнительной ректификационной колонны позволит вывести из сырьевого потока н-бутан и пентаны, и, следовательно, повысить удельную производительность реактора, а также снизить нагрузку на дебутанизатор реакционной массы алкилирования. В программной среде Honeywell UniSim Design было выполнено моделирование работы колонны и найдены значения целесообразных технологических режимов и конструкционных параметров: число тарелок 60, тарелка питания 15, эффективность контактных устройств 0,8; давление в колонне порядка 400 кПа, температура в конденсаторе и ребойлере  $T_k = 28,91 \div 29,05$  °C и  $T_r = 46,72 \div 47,25$  °C соответственно, флегмовое число  $R = 20,41$ . В получаемой изобутановой фракции достигается снижение содержания н-бутана до 0,1% мас. и отсутствие пентанов.

### Литература

- Солодова Н.Л., Хасанов И.Р. Перспективные процессы алкилирования изопарафинов олефинами // Вестник технологического университета. – 2015, т. 18, № 9, с. 117–121
- Алкилирование. Исследования и промышленное оформление процесса / Под ред. Л.Ф. Олбрайта и А.Р. Голдсби. – Пер. с англ. / Под ред. В.Г. Липовича. – М.: Химия, 1982. – 336 с.
- Ширязданов Р.Р. Научно-прикладные основы процесса алкилирования изобутана олефинами на цеолитсодержащих катализаторах: Дисс. д-ра техн. наук. Уфа, 2017. – 409 с.
- Солодова Н.Л., Хасанов И.Р. Анализ работы установки HF-алкилирования ООО «ЛУКОЙЛ-НИЖЕГОРОДНЕФТЕОРГСИНТЕЗ» // Вестник технологического университета. – 2015, т. 18, № 7, с. 119–123

Бояринцев Л.А., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. О чёткости разделения компонентов реакционной смеси установки алкилирования изобутана олефинами // Молодой учёный. – 2021, № 23 (365). – с. 24–29

Ушаков А.С., Долганова И.О., Долганов И.М. Разработка компьютерной моделирующей системы процесса сернокислотного алкилирования изобутана олефинами с учетом дезактивации катализатора // Материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 29 мая – 01 июня 2017. – Томск: НИ ТПУ, 2017 – с. 556

Ivashkina E. et al. Modeling the H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-catalyzed isobutane alkylation with alkenes considering the process unsteadiness // Catalysis Today. – 2019. – Vol. 329. – p. 206–213.

Семенов И.А., Шелковников А.Н. Моделирование процесса сернокислотного алкилирования изопарафинов // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2021. – № 8. – С. 72–73.

Технические условия ТУ 0272–027–00151638–99

Технологический регламент АО «РНПК» «Комбинированная установка сернокислотного алкилирования с блоком изомеризации n-бутана» ТР 2.041.044–19. – Рязань, 2019.

ТР «Установка сернокислотного алкилирования изобутана бутиленами» ТР 24–36, 2013 г.

Honeywell, Unisim Design User Guide, 2013

## References

Solodova N.L., Khasanov I.R. Promising processes of alkylation of isoparaffins with olefins // Bulletin of the Technological University. – 2015, v. 18, no. 9, p. 117–121 (in Russian).

Alkylation. Research and industrial design of the process / Ed. L.F. Albright and A.R. Goldsby. – Per. from English. / Ed. V.G. Lipovich. – M.: Chemistry, 1982. – 336 p. (in Russian).

Shiriyazdanov R.R. Scientific and applied foundations of the process of alkylation of isobutane with olefins on zeolite-containing catalysts: Diss. Dr. tech. Sciences. Ufa, 2017. – 409 p. (in Russian).

Solodova N.L., Khasanov I.R. Analysis of the operation of the HF-alkylation unit of ООО LUKOIL-NIZHEGORODNEFTEORGSIINTEZ // Bulletin of the Technological University. – 2015, v. 18, no. 7, p. 119–123 (in Russian).

Boyarintsev L.A., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. On the clarity of separation of the components of the reaction mixture of the unit for alkylation of isobutane with olefins // Young scientist. – 2021, No. 23 (365). – p. 24–29 (in Russian).

Ushakov A.S. et al. Development of a computer modeling system for the process of sulfuric acid alkylation of isobutane with olefins, taking into account catalyst deactivation // Proceedings of "Chemistry and Chemical Technology in the 21st Century", Tomsk, May 29 – June 01, 2017. – Tomsk: NI TPU, 2017 – p. 556 (in Russian).

Ivashkina E. et al. Modeling the H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-catalyzed isobutane alkylation with alkenes considering the process unsteadiness // Catalysis Today. – 2019. – Vol. 329. – p. 206–213.

Semenov I.A., Shelkovnikov A.N. Modeling of the process of sulfuric acid alkylation of isoparaffins // Modern technologies and scientific and technical progress. – 2021. – No. 8. – S. 72–73. (in Russian).

Specifications TU 0272–027–00151638–99 (in Russian).

Combined sulfuric acid alkylation unit with n-butane isomerization unit" TR 2.041.044–19, 2019. (in Russian).

Technological regulations "Installation of sulfuric acid alkylation of isobutane with butylenes" TR 24–36, 2013 (in Russian).

Honeywell, Unisim Design User Guide, 2013

## Сведения об авторах

**Александр А. Жадяев** магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

**Сергей В. Попов** к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

**Оксана В. Хабибрахманова** к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

**Дарья Е. Балабашкина** магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

## Information about authors

**Alexander A. Zhadyaev** undergraduate, Department of Chemistry and Chemical Technology, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

**Sergey V. Popov** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor., Department of Chemistry and Chemical Technology, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

**Oksana V. Khabibrakhmanova** Cand. Sci. (Chem.), assistant professor, Department of Chemistry and Chemical Technology, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

**Daria E. Balabashkina** undergraduate, Department of Chemistry and Chemical Technology, Samara State Technical University, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia,

## Вклад авторов

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

## Contribution

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

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 26/09/2022

После редакции 16/10/2022

Принята в печать 26/10/2022

Received 26/09/2022

Accepted in revised 16/10/2022


Accepted 26/10/2022




## Влияние содосульфатной смеси на физико-химические свойства сапонитовой суспензии

Ольга С. Зубкова<sup>1</sup>

zubkova-phd@mail.ru

 0000-0002-5833-528XМария А. Торопчина<sup>1</sup>

toropchina\_maria@bk.ru

 0000-0003-2228-7930<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия В.О., 2, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия


**Аннотация.** В настоящей статье рассматривается проблема утилизации глинистого шлама обогащения алмазоносной руды. Сгущение сапонитового шлама посредством химической обработки на сегодняшний день рассматривается как наиболее эффективный способ осветления объемов воды, достаточных для поддержания оборотного водоснабжения предприятия, и, как следствие, сокращения объемов дополнительно вводимой в процесс воды. Авторами предлагается новый коагулянт для осаждения сапонитового шлама – содосульфатная смесь, являющаяся побочным продуктом алюминиевого производства. Использование содосульфатной смеси позволит сократить количество отходов как для обогащательной фабрики алмазодобывающего предприятия, так и для глиноземного производства. Рассмотрен вопрос механизма взаимодействия частиц сапонитового шлама с предлагаемым реагентом. Целью исследования является поиск физико-химических закономерностей взаимодействия глинистых частиц шлама с содосульфатной смесью. В работе определен химический и минеральный состав используемого сырья, поверхностный заряд глинистых частиц, гранулометрический состав опытных образцов и их электрокинетический потенциал. Результаты проведенных исследований показали, что в минеральный состав шлама включены следующие минералы: сапонит, каолин, серпентин, бейделлит, доломит. Поверхностный заряд глинистых частиц отрицательный. Химический состав содосульфатной смеси представлен в форме оксидов:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Выявлена зависимость электрокинетического потенциала от массы вводимой в шлам минеральной добавки. Было отмечено, что абсолютное значение  $\zeta$ -потенциала остается выше 30 мВ несмотря на увеличение концентрации добавки, однако происходит коагуляция глинистых частиц и рассматриваемая система теряет седиментационную устойчивость при концентрации содосульфатной смеси 14,4 г/л.

**Ключевые слова:** сапонитовая глина, глинистая суспензия, коагуляция, седиментационная устойчивость, электрокинетический потенциал.


## Influence of soda-sulfate mixture on physicochemical properties of saponite suspension

Olga S. Zubkova<sup>1</sup>

zubkova-phd@mail.ru

 0000-0002-5833-528XMaria A. Toropchina<sup>1</sup>

toropchina\_maria@bk.ru

 0000-0003-2228-7930<sup>1</sup> Saint Petersburg Mining University, Vasilievsky Island 21, Line 2, 2 Saint Petersburg, 199106, Russia

**Abstract.** This article deals with the problem of clayey sludge utilization of diamondiferous ore enrichment. Thickening of saponite sludge by means of chemical treatment is currently considered as the most effective way to clarify the volume of water sufficient to maintain the recycling water supply of the enterprise and, as a consequence, to reduce the volume of additional water introduced into the process. The authors propose a new coagulant for settling saponite sludge - sodium sulfate mixture, which is a by-product of aluminum production. The use of sodosulfate mixture will reduce the amount of waste for both the diamond mining plant's concentrator and the alumina production. The question of the mechanism of interaction of saponite sludge particles with the proposed reagent is considered. The aim of the research is to find physical and chemical regularities of interaction of clayey slime particles with sodosulfate mixture. Chemical and mineral composition of used raw materials, surface charge of clay particles, granulometric composition of experimental samples and their electrokinetic potential were determined in the work. The results of the studies showed that the mineral composition of the clay slurry includes the following minerals: saponite, kaolin, serpentine, beidelite, dolomite. The surface charge of clay particles is negative. The chemical composition of the soda-sulfate mixture is represented in the form of oxides:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . The dependence of the electrokinetic potential on the mass of the mineral additive introduced into the slurry was revealed. It was noted that the absolute value of  $\zeta$ -potential remains above 30 mV despite increasing the concentration of the additive, but coagulation of clay particles occurs and the system in question loses sedimentation stability at a concentration of sodium sulfate mixture of 14.4 g/l.

**Keywords:** saponite clay, clay suspension, coagulation, sedimentation stability, electrokinetic potential.

### Введение

На сегодняшний день перед промышленностью стоит ряд задач, среди которых совершенствование технологий добычи и переработки полезных ископаемых [1–3]. Также

развивается направление исследований, связанных с утилизацией и вторичным использованием отходов производств [4, 5]. Складирование побочных продуктов, как правило, осуществляется на открытой территории, что наносит ущерб окружающей среде [6, 7].

Для цитирования

Зубкова О.С., Торопчина М.А. Влияние содосульфатной смеси на физико-химические свойства сапонитовой суспензии // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 178–184. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-178-184

For citation

Zubkova O.S., Toropchina M.A. Influence of soda-sulfate mixture on physicochemical properties of saponite suspension. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 178–184. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-178-184

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

Россия является одним из мировых лидеров в области добычи алмазов. Карьерный способ добычи приводит к нарушению ландшафта и экосистемы региона. Большинство алмазодобывающих предприятий имеет обратное технологическое водоснабжение. В процессе обогащения руды образуется шлам, направляющийся в хвостохранилище для отстаивания. После чего отстоявшаяся вода с поверхности снова отправляется в голову процесса [8, 9].

Особенность месторождений европейского севера состоит в том, что алмазоносная порода содержит в своем составе большое количество глинистого минерала сапонита, который характеризуется высокоразвитой способностью к ионному обмену [10, 11]. Примечательной особенностью сапонита является его способность к образованию в воде суспензии, сохраняющей седиментационную устойчивость с течением времени. Вследствие чего, отстаивание такого шлама затруднительно, площадь хвостохранилищ огромна, содержание взвешенных веществ в оборотной воде велико настолько, что усложняет процесс обогащения руды [12, 13]. Так, по состоянию на 2020 год на участке хвостового хозяйства Ломоносовского месторождения было уложено 32,83 млн т шлама. Таким образом, хранение отходов обогащения алмазоносной породы в хвостохранилище наносит окружающей среде колоссальный ущерб, поэтому проблема утилизации шлама является актуальной на сегодняшний день.

В качестве одного из наиболее эффективных путей утилизации сапонитового шлама предлагается сгущение пульпы с целью увеличения количества оборотной воды [14]. Основным способом сгущения сапонитового шлама является коагуляция в присутствии химических реагентов. В качестве коагулянтов предлагаются как полимерные реагенты (полиакриламиды), так и ряд минеральных реагентов: сульфат калия, сульфат натрия, сульфат алюминия и т. д. [15, 16].

В данном исследовании в качестве коагулянта рассматривается содосульфатная смесь, которая является побочным продуктом глиноземного производства. Как правило, материал имеет следующий состав: 70–75 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 20–25 %  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , примеси  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [17].

**Цель исследования** – рассмотрение содосульфатной смеси в качестве коагулянта сапонитового шлама путем поиска физико-химических закономерностей ее взаимодействия с глинистыми частицами.

## Материалы и методы

*Материалы.* При проведении исследований были использованы следующие виды сырья: сапонитовая глина и содосульфатная смесь. Сапонитовая глина была отобрана на Ломоносовском месторождении, Архангельская область. Содосульфатная смесь предоставлена Богословским алюминиевым заводом, Свердловская область.

*Определение минерального состава глинистого сырья* проводилось методом рентгеновской дифрактометрии на XRD-7000 (Shimadzu). Интерпретация данных рентгенограммы была проведена с использованием открытых баз данных [18–20].

*Определение химического состава* используемого сырья осуществлялось на рентгенофлуоресцентном спектральном анализаторе Lab Center XRF-1800. (Shimadzu).

*Определение знака поверхностного заряда сапонитовых частиц* проводилось при воздействии на разбавленную глинистую суспензию электролитов: водных растворов хлорида натрия, сульфата натрия, хлорида магния, хлорида алюминия, фосфата натрия. Исходная концентрация электролитов составляла  $C_{эл} = 0,5$  моль/л, затем были получены растворы данных электролитов при разбавлении исходных растворов в 5; 25; 125; 625 раз соответственно; в качестве раствора сравнения была принята вода (таблица 1). В соответствии с правилом Шульце–Гарди 1) коагуляцию вызывает ион со знаком заряда, противоположным знаку заряда гранулы; 2) чем выше заряд противоиона, тем меньшая концентрация электролита требуется для начала коагуляции [21].

*Гранулометрический состав* рассмотренных образцов суспензии определялся с помощью лазерного анализатора частиц Microsizer 201. В приёмную камеру анализатора небольшими порциями вносится исследуемый образец, количество которого должно быть таким, чтобы амплитуда максимальных сигналов в 1–38 каналах находилась в пределах отметок 625–750 шкалы амплитуд, что соответствует 4–5 капель исследуемых образцов. Результатом анализа на данном приборе является получение дифференциальной кривой распределения размеров частиц, присутствующих в суспензии.

*Электрокинетический потенциал ( $\zeta$ -потенциал)* был определен с помощью метода лазерного доплеровского электрофореза на анализаторе Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments) при предварительном термостатировании (2 мин) при 20 °C в универсальной капиллярной U-образной кювете (DTS1070) с интегрированными позолоченными электродами.

## Результаты и обсуждение

Визуализацию процесса коагуляции глинистых частиц при введении содосульфатной смеси продемонстрировали результаты фотосъемки камерой оптического микроскопа Axio Lab A1 (Carl Zeiss) в реальном времени.

Минеральный состав сырья. Определение структуры взвешенных частиц необходимо для интерпретации свойств глинистых суспензий как дисперсных систем, а также для объяснения механизма взаимодействия исходных минералов с вводимым химическим реагентом.

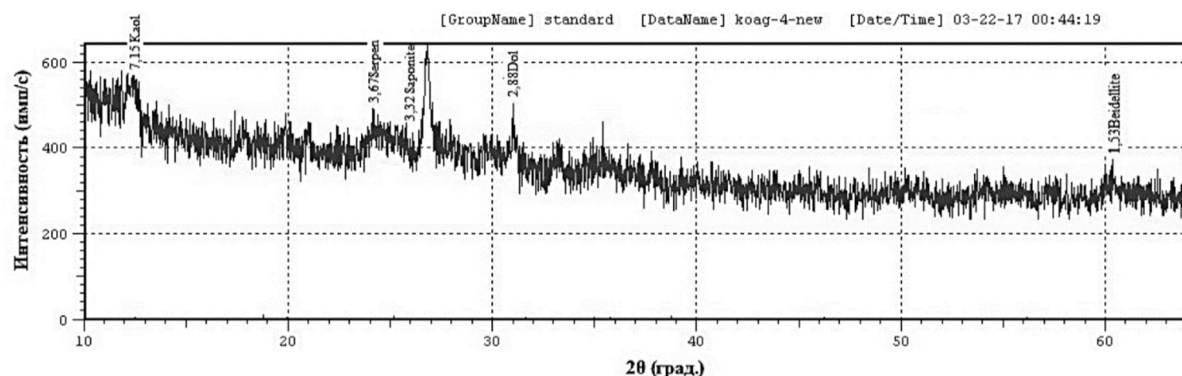


Рисунок 1. Рентгенограмма сапонитовой глины

Figure 1. X-ray analysis of saponite clay

Результат, полученный в ходе рентгеноструктурного анализа взвеси, представлен на рис. 1. Анализ минерального состава глинистого сырья подтвердил, что основным минералом является сапонит. Кроме того, более 50 % сырья представлено глинистыми минералами, обладающими развитым диффузным слоем ионов, наличие которого свидетельствует о тенденции к проявлению катионного обмена.

*Химический состав сырья.* По данным рентгенофлуоресцентного анализа был установлен оксидный состав сапонитового шлама, представленный в виде гистограммы на рис. 2.

Основными оксидами в составе сапонитовой глины являются  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Полученный результат согласуется с общей формулой сапонита, которая может быть представлена в следующем виде:  $(\text{Ca}, \text{Na})_{0,3}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

Также с помощью рентгенофлуоресцентного анализа был определен оксидный состав содосульфатной смеси. Результат анализа отображен на гистограмме (рисунок 3).

В составе содосульфатной смеси преобладающим элементом является натрий, предположительно вызывающий коагуляцию глинистых частиц суспензии.

*Поверхностный заряд глинистых частиц* определялся для суспензии концентрацией 5 г/л. Результат представлен в таблице 1. Согласно таблице 1 факт коагуляции проявляется при меньших концентрациях с ростом заряда катиона, следовательно, поверхностный заряд частицы сапонита отрицательный.

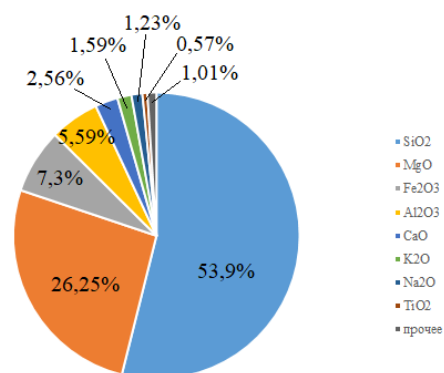


Рисунок 2. Оксидный состав сапонитовой глины

Figure 2. The oxide composition of the saponite clay

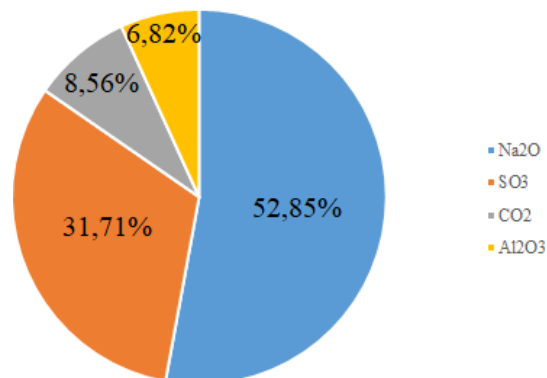


Рисунок 3. Оксидный состав содосульфатной смеси

Figure 3. Oxide composition of soda-sulfate mixture

Это объясняется частичной диссоциацией частиц сапонита в результате выхода ионов  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  из кристаллической решетки минерала.

**Определение гранулометрического состава суспензий.** Содержание взвешенных веществ в полученной суспензии составило 85 г./л. Для измерений было подготовлено 5 образцов: глинистая суспензия; суспензия с добавлением содосульфатной смеси в концентрациях 2,8; 5,7; 10,0; 14,4 г/л. Анализ проводился спустя 10 минут после приготовления образцов. Результаты измерений представлены на рис. 4.

Таблица 1.

Результаты опыта по определению поверхностного заряда частиц сапонита

Table 1.

Results of the experiment to determine the surface charge of saponite particles

Условная концентрация Conditional concentration	Факт коагуляции (+/-) Coagulation fact(+/-)				
	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub>	AlCl <sub>3</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
$C_{эл}$	+	+	+	+	+
$C_{эл}/5$	+	+	+	+	-
$C_{эл}/25$	+	+	+	+	-
$C_{эл}/125$	-	+	+	+	-
$C_{эл}/625$	-	-	-	+	-
0 (H <sub>2</sub> O)	-	-	-	-	-

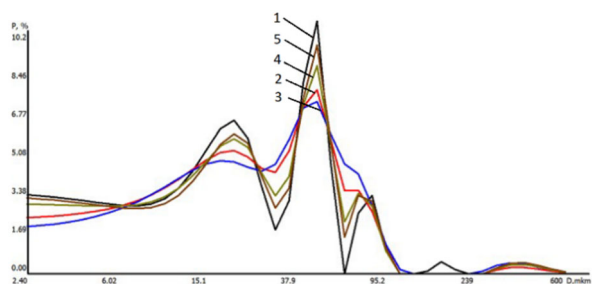


Рисунок 4. Дифференциальное распределение размеров частиц образцов: 1 – исходная суспензия; 2 – концентрация добавки 2.8 г./л; 3 – концентрация добавки 5.7 г./л; 4 – концентрация добавки 10 г./л; 5 – концентрация добавки 14.4 г./л

Figure 4. Differential distribution of particle sizes of samples: 1 – initial slurry; 2 – additive concentration 2.8 g/L; 3 – additive concentration 5.7 g/L; 4 – additive concentration 10 g/L; 5 – additive concentration 14.4 g/L

Из графиков рисунка 4 видно, что все полученные образцы являются полидисперсными системами с основным размером частиц 43–50 мкм. Следовательно, анализируемые образцы относятся к классу грубодисперсных коллоидных систем. Учитывая тот факт, что гранулометрический состав всех образцов при введении содосульфатной смеси мало отличен от гранулометрического состава исходной суспензии, седиментационная устойчивость в данном случае имеет большее значение, чем агрегативная.

**Электрокинетический потенциал ( $\zeta$ -потенциал).** По результатам измерения электрофоретической подвижности частиц в разбавленной водной дисперсии (содержание твердой фазы не превышало 0.02 мас. %) был рассчитан  $\zeta$ -потенциал глинистых частиц и построен график, представленный на рисунке 5.

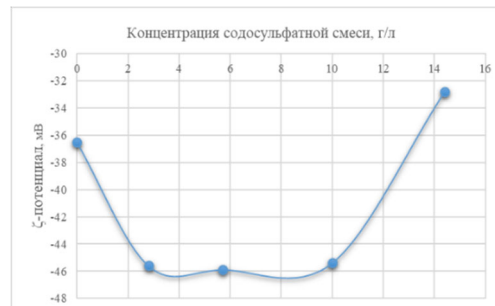


Рисунок 5. График зависимости  $\zeta$ -потенциала от концентрации содосульфатной смеси в образце

Figure 5. Graph of the  $\zeta$ -potential dependence on the concentration of sodium sulfate mixture in the sample

$\zeta$ -потенциал рассчитан по уравнению Смолуховского:

$$\zeta = \frac{\eta}{\varepsilon \varepsilon_0} U_e \quad (1)$$

где  $\eta$  – вязкость среды;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума;  $U_e$  – электрофоретическая подвижность частиц.

Согласно полученным данным, электрокинетический потенциал частиц каждого из образцов достаточно высок по своему абсолютному значению, из чего следует, что анализируемые системы должны быть агрегативно устойчивы. Однако коагуляция частиц имеет место, несмотря на высокие абсолютные значения  $\zeta$ -потенциала (более 30 мВ). Следовательно, коагуляция происходит за счет роста ионной силы раствора электролита. Кроме того, концентрация взвешенных веществ сгущаемого шлама значительно выше, чем в образцах суспензии, приготовленных для измерения  $\zeta$ -потенциала, что является одним из факторов, вызывающих коагуляцию частиц. Седиментационная устойчивость сохраняется системой также в диапазоне концентраций содосульфатной смеси 2.8–10 г./л. При содержании реагента 14.4 г./л система утрачивает седиментационную устойчивость, что приводит к образованию осадка. Катионы натрия, имеющие заряд противоположный заряду глинистых частиц, проникают в адсорбционный слой, тем самым нейтрализуя потенциалопределяющие ионы, за счет чего резко снижается значение  $\zeta$ -потенциала.



На рисунке 6 представлены снимки с камеры оптического микроскопа, демонстрирующий факт коагуляции сапонитовой суспензии при введении электролита – содосульфатной смеси.

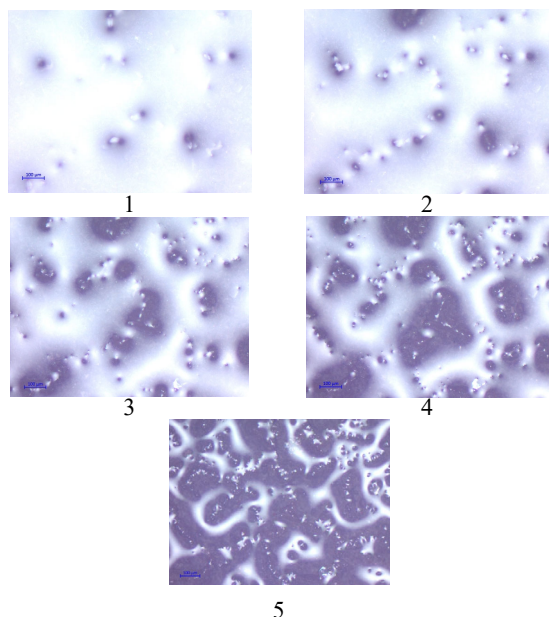


Рисунок 6. Фотофиксация процесса коагуляции сапонитовой суспензии при воздействии содосульфатной смеси: 1 –  $t = 0$  с; 2 –  $t = 10$  с; 3 –  $t = 30$  с; 4 –  $t = 50$  с; 5 –  $t = 80$  с

Figure 6. Photo of the coagulation process of saponite suspension when exposed to sodosulfate mixture: 1 –  $t = 0$  sec; 2 –  $t = 10$  sec; 3 –  $t = 30$  sec; 4 –  $t = 50$  sec; 5 –  $t = 80$  sec

### Заключение

Проведенные в настоящей работе исследования доказывают возможность применения содосульфатной смеси в качестве коагулянта сапонитового шлама. Использование данного материала позволит решить проблему складирования отходов на двух предприятиях.

Установлено, что сапонитовые частицы имеют отрицательный поверхностный заряд за счет частичной диссоциации поверхностных гидроксогрупп. Поэтому коагулирующим ионом является катион натрия, появляющийся в системе в результате растворения содосульфатной смеси.

Абсолютная величина электрокинетического потенциала системы остается выше 30 мВ как для исходной суспензии, так и при добавлении содосульфатной смеси. Частицы взвеси коагулируют за счет высокой концентрации (85 г./л) и роста ионной силы раствора, который приводит к потере седиментационной устойчивости системы. Концентрация содосульфатной смеси, при которой происходит коагуляция глинистой суспензии, составила 14.4 г./л.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность

д.т.н., профессору кафедры общей и физической химии Санкт-Петербургского горного университета Литвиновой Татьяне Евгеньевне за консультации по вопросам, связанным с коллоидной химией;

д.х.н., научному руководителю проекта аппарата управления научного центра «Оценка техногенной трансформации экосистем» Санкт-Петербургского горного университета Поварову Владимиру Глебовичу за проведение рентгено-структурного и рентгено-флуоресцентного анализа;

к.х.н., доценту кафедры коллоидной химии Института химии Санкт-Петербургского государственного университета Волковой Анне Валериевне за измерение  $\zeta$ -потенциала и консультации по вопросам, связанным с коллоидной химией.

### Литература

- 1 Чебан А.Ю. Технология разработки сложноструктурного месторождения апатитов и выемочно-сортировочный комплекс для ее осуществления. // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 399–404.
- 2 Сизяков В.М., Бричкин В.Н. О роли гидрокарбоалюминатов кальция в совершенствовании технологии комплексной переработки нефелинов. // Записки Горного института. 2018. Т. 231. С. 292–298.
- 3 Алексеев А.И. Комплексная переработка апатит-нефелиновых руд на основе создания замкнутых технологических схем // Записки Горного института. 2015. Том 215. С. 75.
- 4 Литвинова Т.Е., Сучков Д.В. Комплексный подход к утилизации техногенных отходов минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 6–1. С. 331–348.
- 5 Пашкевич М.А. и др. Оценка потенциальной возможности использования лигнин-шламов для лесохозяйственной рекультивации нарушенных земель. // Записки Горного института. 2019. Т. 235. С. 106–112.
- 6 Коган В.Е., Шахпаронова Т.С. Химия как основа для решения экологических проблем. // Записки Горного института. 2017. 224. С. 223–228.
- 7 Трушко В.Л., Утков В.А., Бажин В.Ю. Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства. // Записки Горного института. 2017. Т. 227. С. 547–553.
- 8 Облицов Ю.А., Рогалев В.А. Перспективные направления утилизации отходов обогащения алмазонасодержащей породы месторождения имени М.В. Ломоносова // Записки Горного института. 2012. Т. 195. С. 163 – 167.


- 9 Вержак Д.В., Гаранин К.В. Алмазные месторождения Архангельской области и экологические проблемы их освоения // Вестник Московского университета. Геология. 2005. С. 18–27.
- 10 Малов А.И., Сидкина Е.С., Рыженко Б.Н. Модель месторождения алмазов им. МВ Ломоносова как системы "вода-порода": формы миграции, насыщенность подземных вод относительно породообразующих и рудных минералов, экологическая оценка качества вод // Геохимия. 2017. №. 12. С. 1128–1140.
- 11 Поляков В.Е., Тарасевич Ю.И. Ионообменные равновесия с участием однозарядных катионов на сапоните // Химия и технология воды. 2012. С. 18–27.
- 12 Пашкевич М.А., Алексеенко А.В. Перспективы повторного использования хвостов алмазной глины на Ломоносовском месторождении на Северо-Западе России. Минералы. 2020. № 10. С. 517–534.
- 13 Шевелёва А.В., Шварцман Ю.Г. Проблемы экологической безопасности при разработке месторождения алмазов имени Ломоносова // Arctic Environmental Research. 2012. №. 2. С. 40–46.
- 14 Сизяков В.М., Иваник С.А., Фокина С.Б. Исследование процессов сгущения и фильтрации тонкодисперсных окисленных пульп // Обогащение руд. 2012. № 2. С. 24–28.
- 15 Аверкина Е.В., Шакирова Э.В., Бутакова Л.А. Влияние реагентов-флокулянтов на параметры глинистых суспензий // Науки о Земле и недропользование. 2020. № 43(2). С. 230–241.
- 16 Zubkova O. et al. Complex processing of saponite waste from a diamond-mining enterprise // Applied Sciences. 2021. T. 11. №. 14. С. 6615
- 17 Ибрагимов Р.А. и др. Использование сульфатно-содовой смеси в качестве ускорителя твердения в технологии тяжелого бетона // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 9. С. 167–170.
- 18 Ruff-Integrated database of Raman spectra, X-ray diffraction and chemistry data for minerals. [Электронный ресурс]. URL: <http://ruff.info/>. (дата обращения 12.09.2022).
- 19 Фекличев В.Г. Диагностические константы минералов: справочник. Москва: Недра, 1989. 479 с.
- 20 Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. Москва: Гостехиздат, 1957. 868 с.
- 21 Яковлева А.А., Ту В.Д. Влияние электролитов на устойчивость суспензий на основе глины Слюдянского месторождения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. №. 6 (46). С. 209–213.


### References

- 1 Cheban A.Y. Technology of development of a complex-structured apatite deposit and excavation-sorting complex for its implementation. Journal of the Mining Institute. 2019. vol. 238. pp. 399–404. (in Russian).
- 2 Sizyakov V.M., Brichkin V.N. On the role of calcium hydrocarboaluminates in improving the technology of complex processing of nepheline. Journal of the Mining Institute. 2018. vol. 231. pp. 292–298. (in Russian).
- 3 Alekseev A.I. Complex processing of apatite-nepheline ores on the basis of the creation of closed technological schemes Journal of the Mining Institute. 2015. vol. 215. pp. 75. (in Russian).
- 4 Litvinova T.E., Suchkov D.V. Integrated approach to the utilization of man-made waste of the mineral complex // Mining Information and Analytical Bulletin. 2022. no. 6–1. pp. 331–348. (in Russian).
- 5 Pashkevich M.A., Petrova T.A., Rudzish E. Evaluation of the potential use of lignin-slimes for forestry reclamation of disturbed lands. Journal of the Mining Institute. 2019. vol. 235. pp. 106–112. (in Russian).
- 6 Kogan V.E., Shakhparonova T.S. Chemistry as a basis for solving environmental problems. Journal of the Mining Institute. 2017. 224. pp. 223–228. (in Russian).
- 7 Trushko V.L., Utkov V.A., Bazhin V. Yu. Relevance and possibilities of complete processing of red sludge of alumina production. Journal of the Mining Institute. 2017. vol. 227. pp. 547–553. (in Russian).
- 8 Oblitsov Yu. A., Rogalyov V.A. Prospective directions of utilization of waste diamond-bearing rock enrichment of the Lomonosov deposit Journal of the Mining Institute. 2012. vol. 195. pp. 163 – 167. (in Russian).
- 9 Verzhak D.V., Garanin K.V. Diamond deposits of the Arkhangelsk region and the environmental problems of their development Bulletin of Moscow University. Geology. 2005. pp. 18–27. (in Russian).
- 10 Malov A.I., Sidkina E.S., Ryzhenko B.N. Model of the Lomonosov diamond deposit as a "water-rock system": migration forms, groundwater saturation relative to rock-forming and ore minerals, and environmental assessment of water quality Geochemistry. 2017. no. 12. pp. 1128–1140. (in Russian).
- 11 Polyakov V.E., Tarasevich Y.I. Ion-exchange equilibria involving single-charged cations on saponite // Chemistry and Technology of Water. 2012. pp. 18–27. (in Russian).
- 12 Pashkevich M.A., Alekseenko A.V. Prospects for reuse of diamond clay tails at the Lomonosov deposit in Northwest Russia. Minerals. 2020. no. 10. pp. 517–534. (in Russian).
- 13 Sheveleva A.V., Shvartsman Yu. G. Problems of environmental safety in the development of the Lomonosov diamond field Arctic Environmental Research. 2012. no. 2. pp. 40–46. (in Russian).
- 14 Sizyakov V.M., Ivanik S.A., Fokina S.B. Study of thickening and filtration of fine oxidized pulps // Ore Enrichment. 2012. no. 2. pp. 24–28. (in Russian).
- 15 Averkina E.V., Shakirova E.V., Butakova L.A. Influence of reagents-flocculants on parameters of clay suspensions Earth Sciences and Subsoil. 2020. № 43(2). pp. 230–241. (in Russian).
- 16 Zubkova O. et al. Complex processing of saponite waste from a diamond-mining enterprise // Applied Sciences. 2021. T. 11. №. 14. С. 6615.
- 17 Ibragimov R.A., Izotov V.S., Khuzyakhmetov R.H. Using sulfate-soda mixture as a hardening gas pedal in the technology of heavy concrete Bulletin of technological university. 2015. vol. 18. no. 9. pp. 167–170. (in Russian).
- 18 Ruff-Integrated database of Raman spectra, X-ray diffraction and chemistry data for minerals. [Electronic resource]. URL: <http://ruff.info/> (accessed 12.09.2022).
- 19 Feklichev V.G. Diagnostic constants of minerals: the manual. Moscow: Nedra, 1989. 479 p.
- 20 Mikheev V.I. Roentgenometric Determinant of Minerals. Moscow: Gostekhizdat, 1957. 868 p.
- 21 Yakovleva A.A., Tu V.D. The influence of electrolytes on the stability of suspensions based on clay Slyudyansky deposit // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2010. no. 6 (46). pp. 209–213. (in Russian).



**Сведения об авторах**

**Ольга С. Зубкова** к.т.н., научный сотрудник, НЦ «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов», Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия В.О., 2, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия, zubkova-phd@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-5833-528X>

**Мария А. Торопчина** аспирант, кафедра химических технологий и переработки энергоносителей, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия В.О., 2, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия, toropchina\_maria@bk.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-2228-7930>

**Вклад авторов**

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 S. Zubkova** Cand. Sci. (Engin.), staff scientist, Scientific Center «Problems of mineral and technogenic resources processing», Saint Petersburg Mining University, Vasilievsky Island 21, Line 2, 2 Saint Petersburg, 199106, Russia, zubkova-phd@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5833-528X>

**Maria A. Toropchina** PhD student, Department of Chemical Technology and Energy Processing, Saint Petersburg Mining University, Vasilievsky Island 21, Line 2, 2 Saint Petersburg, 199106, Russia, toropchina\_maria@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2228-7930>

**Contribution**




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 25/09/2022	После редакции 12/10/2022	Принята в печать 21/10/2022
Received 25/09/2022	Accepted in revised 12/10/2022	Accepted 21/10/2022

## Извлечение алифатических аминокислот из водных сред аминофосфоновым ионообменником

Лариса П. Бондарева <sup>1</sup>	<a href="mailto:larbon@mail.ru">larbon@mail.ru</a>	 0000-0001-9143-9374
Елена А. Загорулько <sup>2</sup>	<a href="mailto:zagorulko.yelena@ya.ru">zagorulko.yelena@ya.ru</a>	 0000-0003-0772-0855
Алексей В. Астапов <sup>3</sup>	<a href="mailto:solar_al@mail.ru">solar_al@mail.ru</a>	 0000-0002-7314-3024

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




<sup>2</sup> Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России, ул. Краснознаменная, 231, г. Воронеж, 394052, Россия

<sup>3</sup> Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия

**Аннотация.** В работе изучена сорбция алифатических аминокислот глицина и  $\alpha$ -аланина аминофосфоновым ионообменником и описана динамика сорбции с помощью кинетического уравнения. Экспериментальные исследования проводились на сконструированной экспериментальной установке с неподвижным слоем ионообменника, в которой очищаемый и регенерирующий растворы пропускаются через слой сорбента в различных направлениях. Гетерогенный процесс ионного обмена включает транспорт ионов сорбтива в жидкой фазе к поверхности зерна и удаление от нее десорбируемых ионов, межфазный перенос, диффузию сорбируемых и десорбируемых ионов внутри зерна, поскольку не все функциональные группы сорбента локализованы на поверхности, и обратимую реакцию ионного обмена. Кинетическое уравнение модели Томаса учитывает многостадийность сорбции и адекватно описывает зависимость степени извлечения компонента от продолжительности контакта раствора со слоем ионообменника. Уравнение модели Томаса модернизировано с учетом влияния на динамику процесса диффузионных сопротивлений в каналах слоя и зернах ионообменника в колонне с неподвижной загрузкой. Модернизированная модель применена для описания динамики ионного обмена алифатических аминокислот на аминофосфоновом ионообменнике и показана возможность использования модели одномерного капиллярного течения для оценки диффузионного сопротивления при движении жидкости в каналах слоя ионообменника. Проверено согласование расчетных и экспериментальных выходных кривых сорбции алифатических аминокислот из водных растворов различной концентрации. Показано, что модернизированная модель адекватно описывает зависимость степени извлечения аминокислот от продолжительности контакта раствора со слоем полиамфолита при различных скоростях подачи очищаемого раствора.

**Ключевые слова:** ионный обмен, алифатические аминокислоты, модель Томаса, динамика, диффузионные сопротивления.

## Separation of aliphatic amino acids from aqueous media with an aminophosphonic ion exchanger

Larisa P. Bondareva <sup>1</sup>	<a href="mailto:larbon@mail.ru">larbon@mail.ru</a>	 0000-0001-9143-9374
Elena A. Zagorulko <sup>2</sup>	<a href="mailto:zagorulko.yelena@ya.ru">zagorulko.yelena@ya.ru</a>	 0000-0003-0772-0855
Aleksey V. Astapov <sup>3</sup>	<a href="mailto:solar_al@mail.ru">solar_al@mail.ru</a>	 0000-0002-7314-3024

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

<sup>2</sup> Voronezh institute of Advanced Training of Employees of the EMERCOM of Russia, Krasnoznamennay st., 231, Voronezh, 394052, Russia

<sup>3</sup> Academy of the Air Force named by Professors N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Old Bolsheviks st., 54A, Voronezh, 394064, Russia

**Abstract.** The sorption of the aliphatic amino acids glycine and  $\alpha$ -alanine by an aminophosphonic ion exchanger is studied and the dynamics of sorption is described using a kinetic equation. Experimental studies were carried out on a designed experimental setup with a fixed ion exchanger layer, in which the purified and regenerating solutions are passed through the sorbent layer in various directions. The heterogeneous ion exchange process includes the transport of sorbent ions in the liquid phase to the grain surface and the removal of desorbed ions from it, interphase transfer, diffusion of sorbed and desorbed ions inside the grain, since not all functional groups of the sorbent are localized on the surface, and a reversible ion exchange reaction. The kinetic equation of the Thomas model takes into account the multistage sorption and adequately describes the dependence of the degree of extraction of the component on the duration of contact of the solution with the ion exchanger layer. The equation of the Thomas model has been modernized taking into account the effect on the dynamics of the process of diffusion resistances in the channels of the layer and the grains of the ion exchanger in a column with a fixed loading. The upgraded model is applied to describe the dynamics of ion exchange of aliphatic amino acids on an aminophosphonic ion exchanger and the possibility of using a one-dimensional capillary flow model to estimate the diffusion resistance during fluid movement in the channels of the ion exchanger layer is shown. The agreement of the calculated and experimental output curves of sorption of aliphatic amino acids from aqueous solutions of various concentrations has been verified. It is shown that the upgraded model adequately describes the dependence of the degree of amino acid extraction on the duration of contact of the solution with the polyampholite layer at different feed rates of the purified solution.

**Keywords:** ion exchange, aliphatic amino acids, Thomas model, dynamics, diffusion resistance.

Для цитирования

Бондарева Л.П., Загорулько Е.А., Астапов А.В. Извлечение алифатических аминокислот из водных сред аминофосфоновым ионообменником // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 185–191. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-185-191

For citation

Bondareva L.P., Zagorulko E.A., Astapov A.V. Separation of aliphatic amino acids from aqueous media with an aminophosphonic ion exchanger. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 185–191. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-185-191

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

## Введение

Ионообменный метод позволяет выделять биологически активные соединения, в частности аминокислоты, из водных растворов. Большинство ионообменников, сорбирующих органические соединения, и собственно аминокислоты относятся к классу слабых электролитов, поэтому межфазное распределение в таких системах в значительной степени зависит от значения pH среды [1–4]. Выделения целевых компонентов осуществляется в динамическом режиме, который позволяет обеспечивать селективное распределение компонентов между ионообменником, полное использование сорбционной емкости и значительное сокращение временных затрат [5–8].

Известно, что ионный обмен представляет собой многостадийный гетерогенный процесс, который включает транспорт ионов сорбтива в жидкой фазе к поверхности зерна и удаление от нее десорбируемых ионов, межфазный перенос, диффузию сорбируемых и десорбируемых ионов внутри зерна, поскольку не все функциональные группы сорбента локализованы на поверхности, и обратимую реакцию ионного обмена. Широко распространены процессы, интенсивность которых определяется переносом компонентов в пограничном слое раствора и в зерне ионообменника, либо одним из них, при этом скорость ионного обмена определяется коэффициентами внешней и внутренней диффузии.

Надежное математическое описание сорбционного процесса позволяет прогнозировать поведение системы ионообменник-раствор при разных сочетаниях основных параметров, влияющих на эффективность поглощения, – скорости потока, концентрации сорбтива, высоты слоя ионообменника, среднего размера зерна ионообменника и т. д. – без проведения дополнительного эксперимента. Для оценки влияния на процесс сорбции аминокислот гидродинамических условий его проведения использовано асимптотическое уравнение динамики сорбции [9]. В работе [10] предложено математическое описание динамики ионообменной сорбции, основанное на использовании внешнедиффузионной модели без учета продольной диффузии. Проведенный авторами данной работы анализ моделей динамики сорбции и сравнение результатов расчета с экспериментальным материалом позволили выбрать модель Томаса [11], несколько модернизовав её.

**Цель работы** – изучение сорбции алифатических аминокислот – глицина и  $\alpha$ -аланина аминофосфоновым ионообменником марки Purolite S950 и описание динамики сорбции с помощью кинетического уравнения зависимости степени извлечения компонента от продолжительности контакта раствора со слоем сорбента, учитывающего влияние на процесс диффузионных сопротивлений в каналах слоя и зерна ионообменника в колонне с неподвижной загрузкой.

## Материалы и методы

В настоящей работе сконструирована экспериментальная установка, позволяющая проводить исследования по очистке воды от различных примесей и выделению из раствора целевых компонентов. Многоплановость установки достигнута тем, что очищаемый раствор и регенерирующий или элюирующий реагент пропускаются через слой ионообменной смолы в различном направлении.

Установка, представленная на рисунке 1, состоит из емкости 1 с очищаемым раствором, которая с помощью гибких шлангов присоединена к перистальтическому насосу 2 марки PP2–15 позволяющему прокачивать и регулировать скорость подачи жидкости в интервале от 1 до 200 см<sup>3</sup>/мин, контроль подачи жидкости осуществляется ротаметром 3.

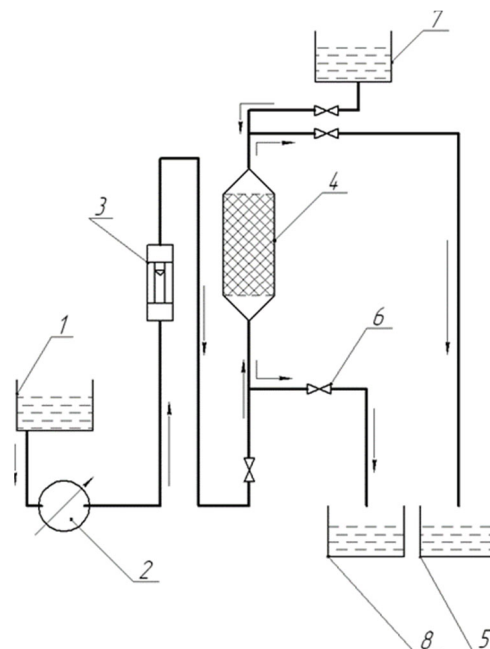


Рисунок 1. Схема экспериментальной ионообменной установки

Figure 1. Experimental ion exchange plant scheme

По жестким трубкам диаметром 12 мм раствор подается снизу в вертикальный

закрытый цилиндрический резервуар 4 с внутренним диаметром 56 мм и высотой 158 мм, заполненный ионообменной смолой. В верхней части колонны проводится отбор очищенной жидкости в специальную емкость 5. Вход и выход колонны снабжены вентилями 6, позволяющими перекрывать поток жидкости и направлять ее поток снизу вверх или сверху вниз. Регенерирующий раствор находится в емкости 7 и подается сверху вниз. Сбор регенерирующей жидкости осуществляется в емкость 8.

Цикл работы установки включает четыре стадии:

1. сорбция удаляемого или целевого компонента из раствора, при которой очищаемая жидкость проходит сквозь слой ионообменного сорбента снизу вверх;
2. расширение и перемешивание слоя ионообменной смолы, причем данная стадия протекает одновременно с первой за счет перемещения ионообменного слоя при подаче жидкости снизу, что является несомненным достоинством данной установки;
3. регенерация ионообменной смолы, при которой соответствующим образом приготовленный регенерирующий раствор проходит через загрузку сверху вниз и восстанавливает исходные свойства сорбента или десорбирует целевой компонент;
4. промывка сорбента, то есть удаление регенерирующего раствора в результате промывки водой сверху вниз.

В установке применена неподвижная загрузка сорбента. Рабочий цикл ионообменника зависит от обменной емкости, определяющейся типом сорбента и, следовательно, устанавливающий объем жидкости, обрабатываемой между двумя операциями регенерации. Трудности, связанные с системой сбора очищенного раствора выше верхнего слоя ионообменного материала решены использованием перистальтического насоса.

Регенерирующий или элюирующий раствор используется достаточно эффективно, поскольку он последовательно проходит через слои ионообменного материала с возрастающей степенью насыщенности, что достигается направлением потока противоположным движению обрабатываемой жидкости.

Динамику сорбции аминокислот изучали на модельных растворах с концентрациями от 0,01 до 0,05 моль/дм<sup>3</sup> при температуре 298 ± 3 К. Водородный показатель исходного раствора составлял pH 5,0, поскольку, согласно диаграммам распределения ионных форм, аминокислоты находятся при этой кислотности

в виде биполярных ионов. Противоточную ионообменную установку с неподвижной загрузкой сорбента заполняли полиамфолитом в H<sup>±</sup> форме, очищаемый раствор пропускали со скоростями от 3 до 9 см<sup>3</sup>/мин. В ходе эксперимента осуществлялся отбор проб раствора на выходе через каждые 10 мин. Концентрацию аминокислот определяли методом Попа и Стивенса [12]. Процесс продолжали до выравнивания концентрации аминокислоты на входе в колонну и выходе из неё. Количество поглощенного ионообменником вещества определяли по разности концентраций исходного раствора и раствора на выходе в данный момент времени и рассчитывали отношение концентрации в данный момент времени (*c*) к начальной концентрации (*c*<sub>0</sub>). По полученным данным строили выходные кривые в координатах *c/c*<sub>0</sub> от времени *τ*.

### Результаты

В работе получены экспериментальные выходные кривые сорбции биполярных ионов глицина и α-аланина на аминофосфоновом ионообменнике Purolite S950 в протонированной форме (рисунки 2 и 3). Сорбционный фронт имеет форму «волны». В начальный момент наблюдается обострение фронта сорбции, соответствующее внешнедиффузионной кинетике, обусловленное низкими значениями коэффициента внутренней диффузии. Размытие фронта сорбции при увеличении заполнения ионообменника связано с увеличением вклада внутренней диффузии.

В работе предложено описание динамики ионного обмена, учитывающее полное диффузионное сопротивление и нелинейный характер зависимости равновесных концентраций компонентов в растворе и фазе сорбента. Полученное кинетическое уравнение применено к описанию динамики сорбции глицинии и α-аланина на аминофосфоновом ионообменнике Purolite S950.

Сорбция рассматривается как массообменный процесс, осложненный гетерогенной химической реакцией, скорость которого описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial q}{\partial \Theta} = \chi a F(c, q),$$

где *q*(*x*, *Θ*) – среднееобъемная концентрация вещества в твердой фазе; *Θ* – продолжительность контакта слоя ионообменника с раствором, *Θ* = *t* - *x* / *v*; *t* – время от начала поступления раствора в колонну; *x* – расстояние от входа в колонну; *v* – средняя скорость течения раствора

в каналах слоя;  $\chi$  – кинетический коэффициент, учитывающий диффузионный перенос во взаимодействующих фазах;  $a$  – удельная

поверхность ионита;  $F(c, q)$  – функция движущей силы процесса;  $c(x, \Theta)$  – концентрация вещества в жидкости.

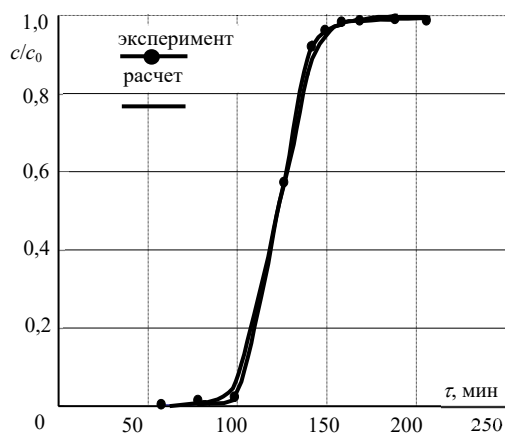


Рисунок 2. Экспериментальная и расчетная выходные кривые сорбции глицина на Purolite S950 (H+) при 298 К, исходной концентрации 0,033 моль/дм<sup>3</sup> и скорости пропускания 5 см<sup>3</sup>/мин

Figure 2. Experimental and derived elution sorption curves of glycine using Purolite S950 (H+) at 298 K, initial concentration 0,033 mole/dm<sup>3</sup> and flow rate of 5 cm<sup>3</sup>/min

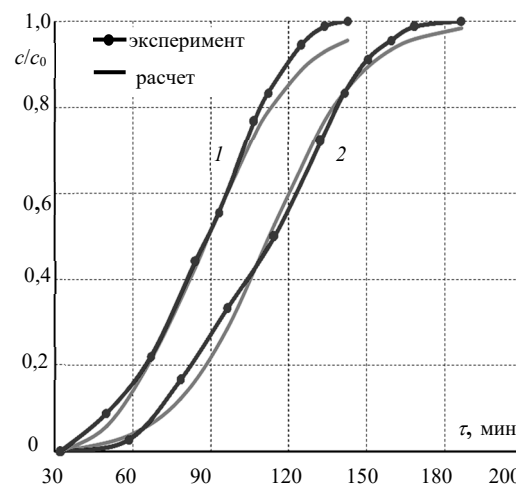


Рисунок 3. Экспериментальные и расчетные выходные кривые  $\alpha$ -аланина на Purolite S950 (H+) при 298 К и исходной концентрации 0,018 моль/дм<sup>3</sup>; скорость пропускания 1 – 9 см<sup>3</sup>/мин; 2 – 7 см<sup>3</sup>/мин

Figure 3. Experimental and derived elution sorption curves of  $\alpha$ -alanine using Purolite S950 (H+) at 298 K and initial concentration 0,018 mole/dm<sup>3</sup>; Flow rate 1 – 9 cm<sup>3</sup>/min; 2 – 7 cm<sup>3</sup>/min

Для описания движущей силы процесса используется выражение

$$F(c, q) = c \left( 1 - \frac{q}{q_{\max}} \right) - \frac{1}{k} (c_0 - c) \frac{q}{q_{\max}}, \quad (1)$$

где  $q_{\max}$  – обменная емкость ионообменника;  $c_0$  – начальная концентрация вещества в р-ре;  $k$  – коэффициент ионообменного равновесия.

Решение уравнения (1), полученное Томасом [11] в допущении формирования стационарного концентрационного фронта, имеет вид:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{J\left(\frac{n}{k}, nT\right)}{J\left(\frac{n}{k}, nT\right) + \left[1 - J\left(\frac{n}{k}, nT\right)\right] \exp\left[\left(1 - \frac{1}{k}\right)(n - nT)\right]},$$

где  $n$  – безразмерная высота слоя,  $n = \chi a x / v \varepsilon$ ;  $\varepsilon$  – порозность слоя;  $T$  – безразмерное время контакта ионообменника с раствором,  $T = v \varepsilon c_0 \Theta / x q_{\max}$ ; значения функции

$$J(\alpha, \beta) = 1 - e^{-\beta} \int_0^{\alpha} e^{-\zeta} I_0(2\sqrt{\beta\zeta}) d\zeta \quad \text{для разных } \alpha$$

и  $\beta$  и ее математические свойства табулированы;  $I_0$  – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Необходимым условием применения этой математической модели является достаточно надежная оценка кинетического коэффициента  $\chi$ , связанного с коэффициентом переноса сорбируемого компонента в каналах слоя (массоотдача в растворе) и в зернах сорбента (массоотдача в твердой фазе).

Сложность гидродинамической обстановки в каналах слоя ионообменника ограничивает возможность теоретического анализа конвективного переноса. Перенос компонента к поверхности зерен ионита рассматривается аналогичным переносу в трубчатых каналах (капиллярная модель). Авторы полагают допустимость такого подхода к системам, в которых коэффициент молекулярной диффузии компонента в растворе  $D_{\text{ж}}$  значительно меньше коэффициента кинематической вязкости жидкости  $\nu$  (соответственно число Шмидта  $Sc = \nu / D_{\text{ж}} \gg 1$ ). При больших числах  $Sc$  толщина диффузионного пограничного слоя, перенос в котором лимитирует процесс, значительно меньше толщины гидродинамического пограничного слоя, вследствие чего сложная геометрическая конфигурация не должна существенно влиять на массоотдачу.

Капиллярная модель подверглась многосторонней экспериментальной проверке. Опытные результаты, полученные измерением предельных диффузионных токов с окислительно-восстановительной реакции на никелевых гранулах и измерением массоотдачи от поверхности прессованных частиц из плохорастворимого вещества в широком интервале чисел Шмидта и Рейнольдса, показали удовлетворительную сходимость с вычисленными.

Для определения коэффициента массоотдачи жидкости в трубе диаметром  $d$  и длиной  $l$  при ламинарном режиме течения использовали решение тепловой задачи, полученное Гретцем и Нуссельтом в виде зависимости числа Шервуда (или дифференциального числа Нуссельта) от безразмерной продольной координаты

$$x_+ = \frac{2l/d}{\text{ReSc}}.$$

Результаты расчета на основе капиллярной модели показали удовлетворительной согласие с экспериментальным материалом. При этом в случае зернистого слоя число Рейнольдса  $\text{Re}'$  и безразмерная продольная координата  $x_+$  вычисляются по формулам:

$$x_+ = \frac{2x/d_r}{\text{Re}'\text{Sc}},$$

$$d_r = \frac{0,423\varepsilon^{1,25}}{1-\varepsilon}d_3,$$

$$\text{Re}' = 0,45u_0d_3/((1-\varepsilon)\varepsilon^{0,5}\nu),$$

где  $u_0$  – скорость, отнесенная к полному сечению колонны;  $x$  – высота слоя;  $d_r$  – гидравлический диаметр самого узкого живого сечения каналов;  $d_3$  – диаметр зерен ионообменника.

При ламинарном режиме течения коэффициент массоотдачи в жидкой фазе вычисляют по формуле

$$\text{Sh} = \frac{\beta_{\text{ж}}d_r}{D_{\text{ж}}} = -\frac{1}{2x_+} \ln \left[ 8 \sum_{n=0}^{\infty} \left( G_n / \lambda_n^2 \right) \exp(-x_+ \lambda_n^2) \right], \quad (2)$$

где  $G_n$  и  $\lambda_n$  – постоянные и собственные значения ряда.

Показано, что в слое из хорошо обтекаемых зерен при  $\text{Re}' < 26$  течение в каналах носит ламинарный характер, при  $\text{Re}' > 100$  – турбулентный, в интервале  $26 < \text{Re}' < 100$  – переходный режим.

В [13] для вычисления чисел Шервуда при турбулентном течении рекомендуется использовать формулу:

$$\text{Sh} = 0,115 \text{Re}(\zeta/8)^{0,5} \text{Sc}^{0,25} [\text{cth}(1,17\zeta_l^{0,5})]^{2/3},$$

где  $\zeta$  – коэффициент гидравлического сопротивления зернистого слоя, определяемый соотношением  $\zeta = 30/\text{Re} + 3,0/\text{Re}^{0,7} + 0,3$ ;

$$\zeta_l = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{Sc}^{0,25} \text{Re}'(\zeta/8)^{0,5} x/d_r.$$

Сравнены расчетные и экспериментальные выходные кривые сорбции биполярного иона глицина и  $\alpha$ -аланина на аминифосфоновом ионообменнике Purolite S950, представленные на рисунках 2 и 3. На начальных участках выходных кривых сорбции отклонение достигает 3%; на конечных участках – не превышает 8%, что позволяет использовать предложенную модели для описания динамики сорбции аминокислот в неподвижном слое ионообменника.

### Заключение

В работе изучена сорбция алифатических аминокислот – глицина и  $\alpha$ -аланина аминифосфоновым ионообменником Purolite S950. На сорбционной установке получены экспериментальные выходные кривые сорбции биполярных ионов аминокислот и описаны с помощью кинетического уравнения модернизированной модели Томаса. Модель одномерного капиллярного течения для оценки диффузионного сопротивления при движении жидкости в каналах слоя ионообменника может быть успешно использована для решения сорбционной кинетической задачи по уравнению Томаса. Модернизированная модель динамики сорбции, учитывающая влияние на процесс диффузионных сопротивлений в каналах слоя и зернах ионообменника в колонне с неподвижной загрузкой, адекватно описывает зависимость степени извлечения компонента от продолжительности контакта раствора со слоем ионообменника и может быть использована для расчета выходных кривых сорбции на различных видах ионообменников.

### Благодарности

Работа выполнена в соответствии с Координационным планом секции «Адсорбционные явления» научного совета РАН по физической химии, номер темы 22–03–460–21.

Авторы выражают глубокую благодарность д.т.н, профессору ВГУИТ Корниенко Тамаре Сергеевне за ценные замечания и консультации в ходе работы.



## Литература


1. Bajtai A., Fekete B., Palkó M., Fülöp F., Lindner W., Kohout M., Ilisz Is., Péter A. Comparative study on the liquid chromatographic enantioseparation of cyclic  $\beta$ -amino acids and the related cyclic  $\beta$ -aminohydroxamic acids on Cinchona alkaloid-based zwitterionic chiral stationary phases // *Journal of Separation Science*. 2018. V. 41. nb. 6. p. 1216–1223.
2. Wu J., Pengfei Z., Wei Zh., Jingwei Yi. H. Modified DIX model for ion-exchange equilibrium of L-phenylalanine on a strong cation-exchange resin // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2016. V. 24. nb. 10. p. 1386–1391.
3. Гапеев А.А., Бондарева Л.П., Астапов А.В., Корниенко Т.С. Гидратация и сорбция аминокислот иминофосфоновым ионообменником // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2016. Т. 52. № 4. с. 436–441.
4. Бондарева Л.П. Особенности взаимодействия алифатических аминокислот с бифункциональным ионообменником // *Вестник ВГУ, Серия: химия. биология. фармация*. 2015. № 4. с. 7–13.
5. Remelli M., Pozzati G., Conato Ch. Direct chiral resolution of underivatized amino acids on a stationary phase dynamically modified with the ion-exchanger N $\alpha$ -decyl-L-spinacine // *Journal of Separation Science*. 2015. V. 38. nb. 6. p. 894–900.
6. Yokoyama Yu., Yokokawa A., Kodai T.T. Polyfunctional low-capacity cation-exchange packing material for the separation of underivatized amino acids // *Talanta* 2013. V. 103. p. 245–251.
7. Liand J., Fieg G., Jakobtorweihen S. Ion-exchange adsorption of proteins: experiments and molecular dynamics simulations // *Chemie ingenieur technik*. 2015. V.87. № 7 DOI: 10.1002/cite.201400095.
8. Pérez-Míguez R., Bruyneel B., Castro-Puyana M., Marina M.L., Somsen G.W., Domínguez-Vega E. Chiral Discrimination of DL-Amino Acids by Trapped Ion Mobility Spectrometry after Derivatization with (+) – 1-(9-Fluorenyl) ethyl Chloroformate // *Analytical Chemistry*. 2019. V. 91. N. 5. p. 3277–3285. DOI: 10.1021/acs.analchem.8b03661.
9. Slavinskaya G.V., Selemenov V.F., Khokhlova O.N., Kondrina O. Yu. Calculation of elution curves for the dynamic sorption of tryptophan on a strongly basic anionite // *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2004. T. 78. № 8. с. 1294–1297.
10. Гантман А.И. Математическая модель смешанно-диффузионной динамики ионообменной сорбции // *Журнал физической химии* 1995. Т. 69. № 10. с. 1816–1819.
11. Thomas H. Heterogeneous ion exchange in a flowing system // *J. Am. Chem. Soc.* 1944. V. 66. № 10. p. 1664–1666.
12. Chemical and functional properties of food proteins / edited by Zdzislaw E. Sikorski / CRC Press; 1 edition. 2001. P. 82.
13. Кишиневский М.Х. Массообмен в неподвижном зернистом слое при малых числах Рейнольдса // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 1986. T. LIX. I. 10. p. 2167–2169.

## References


1. Bajtai A., Fekete B., Palkó M., Fülöp F., Lindner W., Kohout M., Ilisz Is., Péter A. Comparative study on the liquid chromatographic enantioseparation of cyclic  $\beta$ -amino acids and the related cyclic  $\beta$ -aminohydroxamic acids on Cinchona alkaloid-based zwitterionic chiral stationary phases // *Journal of Separation Science*. 2018. V. 41. nb. 6. p. 1216–1223.
2. Wu J., Pengfei Z., Wei Zh., Jingwei Yi. H. Modified DIX model for ion-exchange equilibrium of L-phenylalanine on a strong cation-exchange resin // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2016. V. 24. nb. 10. p. 1386–1391.
3. Gapeev A.A., Bondareva L.P., Astapov A.V., Kornienko T.S. Hydration and sorption of amino acids by an iminophosphonic ion exchanger // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2016. V. 52. № 4. с. 689–694.
4. Bondareva L.P. Osobennosti vzaimodeystvia alifaticheskikh aminokislot s bifunktsionalnym ionoobmennikom // *Vestnik VGU, seria: khimia. biologia, farmazia*. 2015. № 4. с. 7–13. (in Russian).
5. Remelli M., Pozzati G., Conato Ch. Direct chiral resolution of underivatized amino acids on a stationary phase dynamically modified with the ion-exchanger N $\alpha$ -decyl-L-spinacine // *Journal of Separation Science*. 2015. V. 38. nb. 6. p. 894–900.
6. Yokoyama Yu., Yokokawa A., Kodai T.T. Polyfunctional low-capacity cation-exchange packing material for the separation of underivatized amino acids // *Talanta* 2013. V. 103. p. 245–251.
7. Liand J., Fieg G., Jakobtorweihen S. Ion-exchange adsorption of proteins: experiments and molecular dynamics simulations // *Chemie ingenieur technik*. 2015. V.87. № 7 DOI: 10.1002/cite.201400095.
8. Pérez-Míguez R., Bruyneel B., Castro-Puyana M., Marina M.L., Somsen G.W., Domínguez-Vega E. Chiral Discrimination of DL-Amino Acids by Trapped Ion Mobility Spectrometry after Derivatization with (+) – 1-(9-Fluorenyl) ethyl Chloroformate // *Analytical Chemistry*. 2019. V. 91. N. 5. p. 3277–3285. DOI: 10.1021/acs.analchem.8b03661.
9. Slavinskaya G.V., Selemenov V.F., Khokhlova O.N., Kondrina O. Yu. Calculation of elution curves for the dynamic sorption of tryptophan on a strongly basic anionite // *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2004. T. 78. № 8. с. 1294–1297.
10. Gantman A.I. Mathematical model of mixed-diffusion dynamics of ion exchange sorption // *Russian Journal of Physical Chemistry A* 1995. Vol. 69. No. 10. pp. 1816–1819. (in Russian).
11. Thomas H. Heterogeneous ion exchange in a flowing system // *J. Am. Chem. Soc.* 1944. V. 66. № 10. p. 1664–1666.
12. Chemical and functional properties of food proteins / edited by Zdzislaw E. Sikorski / CRC Press; 1 edition. 2001. P. 82.
13. Kishinevsky M.H. Mass transfer in a stationary granular layer at small Reynolds numbers // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 1986. T. LIX. I. 10. p. 2167–2169. (in Russian).

**Сведения об авторах**


**Лариса П. Бондарева** к.х.н., доцент, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, larbon@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9143-9374>

**Елена А. Загорулко** к.т.н., доцент, кафедра пожарной безопасности, Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России, ул. Краснознаменная, 231, г. Воронеж, 394052, Россия, zagorulko.yelena@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0772-0855>

**Алексей В. Астапов** к.х.н., доцент, кафедра физики и химии, Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия, solar\_al@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7314-3024>

**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**


**Larisa P. Bondareva** Cand. Sci. (Chem.), assistant professor, Department of physical and analytical chemistry, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, larbon@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9143-9374>

**Elena A. Zagorulko** Cand. Sci. (Engin.), Associate Professor, Department of Fire Safety, Voronezh institute of Advanced Training of Employees of the EMERCOM of Russia, Krasnoznamennay st., 231, Voronezh, 394052, Russia, zagorulko.yelena@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0772-0855>

**Aleksey V. Astapov** Cand. Sci. (Chem.), assistant professor, Department of physics and chemistry, Academy of the Air Force named by Professors N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Old Bolsheviks st., 54A, Voronezh, 394064, Russia, solar\_al@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7314-3024>

**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** 10/09/2022

**После редакции** 22/09/2022






**Принята в печать** 01/10/2022

**Received** 10/09/2022

**Accepted in revised** 22/09/2022

**Accepted** 01/10/2022

## Модификация поливинилового спирта с помощью озонированного окисления в водном растворе






Любовь Н. Студеникина	<sup>1</sup>	<a href="mailto:lovov-churkina@ya.ru">lovov-churkina@ya.ru</a>	 0000-0001-6613-4974
Артём В. Протасов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:pav-vgta86@mail.ru">pav-vgta86@mail.ru</a>	 0000-0003-0196-7734
Данил А. Борзенков	<sup>1</sup>	<a href="mailto:danilborzenkov1@ya.ru">danilborzenkov1@ya.ru</a>	
Александр А. Мельников	<sup>1</sup>	<a href="mailto:melnikov.shura@inbox.ru">melnikov.shura@inbox.ru</a>	 0000-0003-3763-7120
Светлана Ю. Домарева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:domarevasveta@gmail.com">domarevasveta@gmail.com</a>	 0000-0003-0524-8948

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

**Аннотация.** В настоящее время актуальна задача получения олигомеров поливинилового спирта (ПВС) для создания функциональных материалов нового поколения с заданными свойствами. Одним из методов модификации ПВС является озонлиз, имеющий ряд преимуществ перед другими способами окислительной деструкции полимеров. Цель работы – оценка структурных изменений и физико-механических характеристик пленочных образцов ПВС, подвергнутого модификации озонированным окислением. Для проведения процесса окисления готовили 5% водный раствор ПВС марки 1799. Озон-кислородную смесь получали с помощью озонатора известной конструкции. Окисление ПВС проводили в стеклянной термостатируемой колбе при 70°C, продувая озон-кислородную смесь через водный раствор ПВС в течение 40 минут. Отбор проб осуществлялся через 10, 20 и 40 минут окисления. Пленки получали методом полива с последующей сушкой на воздухе, после чего подвергали их ИК-спектрометрическому анализу и определяли прочностные показатели. В результате исследования установлено, что модификация ПВС марки 1799 озонированным окислением в водной среде сопровождается следующим изменением ИК-спектрограмм: в области 1400 - 1600 см<sup>-1</sup> наблюдается для окисленного озонном ПВС резкое снижение интенсивности пика, соответствующего гидроксильным группам, образующим водородные связи, в области 1650 - 1700 см<sup>-1</sup> отмечена закономерность снижения интенсивности пика с повышением времени окисления ПВС озонном, что свидетельствует о снижении ММ полимера в результате окислительной деструкции, в области 3400 - 3600 см<sup>-1</sup> отмечено изменение характера спектрограммы, что также говорит об изменении структуры водородных связей в окисленном ПВС; физико-механические свойства пленочных образцов подвергнутого 40-минутному озонированному окислению ПВС изменяются в сторону снижения как прочности, так и удлинения при разрыве в среднем в 4 раза, модуль Юнга снижается более чем в 3 раза, а диаграмма растяжения меняет характер в зоне высокоэластической деформации (в 1.5-2 раза снижается интенсивность роста напряжения по мере удлинения пленки при растяжении) и зоне разрушения (диаграмма приобретает ступенчатый характер без резкого обрыва), что связано со снижением молекулярной массы ПВС, приобретением новых функциональных групп, изменением стереорегулярности гидроксильных групп основных полимерных цепей, повышением аморфности и изменением времени их релаксации.

**Ключевые слова:** поливиниловый спирт, озон, окисление, ИК-спектрометрия, диаграммы прочности.

## Modification of polyvinyl alcohol by ozonated oxidation in an aqueous solution

Lubov N. Studenikina	<sup>1</sup>	<a href="mailto:lovov-churkina@ya.ru">lovov-churkina@ya.ru</a>	 0000-0001-6613-4974
Artem V. Protasov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:pav-vgta86@mail.ru">pav-vgta86@mail.ru</a>	 0000-0003-0196-7734
Danil A. Borzenkov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:danilborzenkov1@ya.ru">danilborzenkov1@ya.ru</a>	
Alexandr A. Melnikov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:melnikov.shura@inbox.ru">melnikov.shura@inbox.ru</a>	 0000-0003-3763-7120
Svetlana Y. Domareva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:domarevasveta@gmail.com">domarevasveta@gmail.com</a>	 0000-0003-0524-8948

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

**Abstract.** Currently, the task of obtaining polyvinyl alcohol oligomers (PVA) is urgent to create functional materials of a new generation with specified properties. One of the methods of modification of PVS is ozonolysis, which has a number of advantages over other methods of oxidative degradation of polymers. The aim of the work is to evaluate the structural changes and physico-mechanical characteristics of film samples of PVS modified by ozonated oxidation. To carry out the oxidation process, a 5% aqueous solution of PVA brand 1799 was prepared. The ozone-oxygen mixture was obtained using an ozonizer of a known design. The oxidation of PVS was carried out in a glass thermostatically controlled flask at 70 °C, blowing an ozone-oxygen mixture through an aqueous solution of PVS for 40 minutes. Sampling was carried out after 10, 20 and 40 minutes of oxidation. The films were obtained by irrigation followed by air drying, after which they were subjected to IR spectrometric analysis and strength indicators were determined. As a result of the study, it was found that the modification of PVA brand 1799 by ozonated oxidation in an aqueous medium is accompanied by the following change in IR spectrograms: in the region of 1400 - 1600 cm<sup>-1</sup>, a sharp decrease in the intensity of the peak corresponding to hydroxyl groups forming hydrogen bonds is observed for ozone-oxidized PVA, in the region of 1650 - 1700 cm<sup>-1</sup>, a pattern of decrease in intensity is noted the peak with an increase in the oxidation time of PVA with ozone, which indicates a decrease

Для цитирования

Студеникина Л.Н., Протасов А.В., Борзенков Д.А., Мельников А.А., Домарева С.Ю. Модификация поливинилового спирта с помощью озонированного окисления в водном растворе // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 192–199. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-192-199

For citation

Studenikina L.N., Protasov A.V., Borzenkov D.A., Melnikov A.A., Domareva S.Y. Modification of polyvinyl alcohol by ozonated oxidation in an aqueous solution. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 192–199. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-192-199

in the MM of the polymer as a result of oxidative degradation, in the region of 3400 – 3600 cm<sup>-1</sup> marked a change in the nature of the spectrogram, which also indicates a change in the structure of hydrogen bonds in oxidized PVS; the physico-mechanical properties of film samples subjected to 40-minute ozonated oxidation of PVS change towards a decrease in both strength and elongation at break by an average of 4 times, the Young's modulus decreases by more than 3 times, and the stretching diagram changes character in the zone of highly elastic deformation (the intensity of stress growth decreases by 1.5-2 times as the film elongates during stretching) and the fracture zone (the diagram acquires a stepwise character without a sharp break), which is associated with a decrease in the molecular weight of the PVS, the acquisition of new functional groups, a change in the stereoregularity of the hydroxyl groups of the main polymer chains, an increase in amorphousness and a change in their relaxation time.

**Keywords:** polyvinyl alcohol, ozone, oxidation, IR spectrometry, strength diagrams.

## Введение

В настоящее время особый интерес представляет модификация нетоксичного и водорастворимого полимера – поливинилового спирта (ПВС), что обусловлено необходимостью создания функциональных материалов нового поколения (например, матриц для изготовления лекарств пролонгированного действия, упаковок с регулируемыми сроками деградации и т. д.) [1].

ПВС могут содержать различное количество винилацетатных групп (ВА-групп), что существенно влияет на комплекс свойств полимера: водостойкость, физико-механические свойства, адгезию, биоразлагаемость и проч. ПВС с высоким содержанием ВА-групп достаточно быстро разлагаются в холодной воде и способны подвергаться биоразложению в естественных условиях окружающей среды. ПВС с низким содержанием ВА-групп достаточно длительное время не разлагаются в естественных условиях окружающей среды, при этом являются прочными и относительно водостойкими материалами [2].

Для создания материалов на основе ПВС с заданными свойствами (определённой скоростью биодеструкции, временем водорастворения при заданной температуре среды, физико-механическими свойствами и т. д.) необходима химическая модификация полимера [3].

Наиболее распространёнными методами модификации ПВС являются:

- сшивка [4, 5], сопровождается повышением водостойкости и прочности;
- деструкция [6, 7], позволяет повысить адгезионные свойства, растворимость;
- компаудирование и сополимеризация [8, 9], обеспечивает снижение стоимости продукта и приобретение комплекса новых свойств, и некоторые другие.

В настоящее время актуальна задача получения олигомеров (низкомолекулярных полимеров) из поливинилового спирта. При использовании известных окислителей (перманганата калия, бихромата калия, бромата калия, персульфата калия) образующиеся продукты реакции необходимо дополнительно очищать от остатков окисляющего агента, что

повышает себестоимость олигомеров. Метод озонированного окисления ПВС лишен этих недостатков и позволяет получать экологически чистые олигомеры, пригодные для последующего использования без дополнительной очистки [10].

Механизмы реакций озона с кислородсодержащими соединениями в органических растворителях, соответствующие кинетические и некоторые термодинамические параметры подробно описаны в работах [11–13]. Выявлены зависимости кинетики и механизма реакций озонирования от структуры соединений, среды и условий реакции. Указаны и обсуждены различные возможные области применения озоннолиза. Все эти реакции имеют практическое значение для защиты окружающей среды. Окисление озоном открывает возможность трансформировать озониды в различные кислородсодержащие соединения.

Механизм взаимодействия ПВС и озона исследовался отечественными и зарубежными учеными. Установлено, что окисление поливинилового спирта под действием озон-кислородной смеси в водной среде протекает по радикальному механизму и сопровождается окислительной деструкцией макромолекул полимера и окислительной функционализацией образующихся олигомеров [14].

В работе [10] изучена кинетика окисления поливинилового спирта (ПВС) под действием озон-кислородной смеси в водной среде, установлено, что в процессе окисления карбоксильные группы накапливаются по закону:  $[-COOH] = b \times t^2$ , где  $b$  – эффективный параметр, характеризующий динамику накопления –  $COOH$ -групп;  $t$  – время.

Известны [15] экспериментальные результаты по кинетике накопления групп  $COOH$  и кинетике деструктивных превращений в процессах озонированного окисления ПВС в водных растворах. Они открывают возможности для управления окислительным процессом с целью получения окисленных полимерных фракций с определенными молекулярными массами. Эти фракции авторами рассматриваются в качестве потенциальных субстратов для препаратов длительного действия.

Экспериментальные результаты [16] говорят о сложном многостадийном механизме окисления поливинилового спирта озонном. Сопоставление кинетических кривых накопления карбоксильных групп, поглощения озона в газовой фазе, и изменения кинематической вязкости растворов в процессе окисления ПВС показало, что кислые продукты реакции в первые 40 минут образуются в незначительном количестве, в то время как озон поглощается интенсивно, и, наоборот, в дальнейшем озон поглощается мало, а кислоты начинают интенсивно накапливаться. Очевидно, что озон инициирует процессы окислительной деструкции ПВС и дальнейшего окисления низкомолекулярных полимеров.

В исследовании [17] установлено, что озон реагирует с водным раствором поливинилового спирта (ПВС), образуя гидротриоксидные группы в цепи ПВС. Такие группы относительно стабильны и могут быть обнаружены в водном растворе даже через неделю после их синтеза. Термическая обработка озонированного раствора ПВС при 70 °С приводит к медленному разложению гидротриоксидов с последующим дальнейшим окислением ПВС.

Известно, что поливиниловый спирт образует с озоном прочный комплекс водородных связей. Авторами [18] показано, что ПВС разлагается при воздействии озона с обширным разрывом цепи, а конечный продукт представляет собой ПВС-олигомер с многочисленными кетонными группами вдоль основной олигомерной цепи и с карбоксильными концевыми группами. Расщепление цепи основано на окислении озоном спиртовых групп ПВС с образованием кетонных групп, которые, в свою очередь, являются источником кето-енольной таутомерии, которая приводит к случайному расщеплению цепи при дальнейшей атаке ОЗ. Вискозиметрические измерения в данном исследовании показывают, что основное снижение вязкости ПВС достигается при достижении номинального стехиометрического соотношения  $O_3/PVS < 0,05$ , что означает одну молекулу озона на каждые > 20 мономерных единиц ПВС.

Таким образом, озонированное окисление представляет научно-практический интерес как метод модификации ПВС, однако в литературе отсутствуют данные о влиянии озонлиза на физико-механические свойства модифицированного ПВС, что требует проведения исследований.

**Цель работы** – оценка структурных изменений и физико-механических характеристик пленочных образцов поливинилового спирта, подвергнутого модификации озонированным окислением.

## Материалы и методы

Использовали ПВС марки 1799 со степенью гидролиза 99.0% (данные предприятия-производителя). Пленки исходного и модифицированного озонлизом ПВС готовили методом полива. Высушенные пленки отделяли от подложки, фиксировали в держателе образцов для ИК спектроскопии, после чего регистрировали их ИК спектры на ИК Фурье-спектрометре «ИнфраЛЮМ ФТ-08» с программным комплексом «СпектраЛЮМ» в интервале 600–4000 см<sup>-1</sup>. Для оценки прочностных показателей из пленок вырезали лопатки и подвергали испытанию в разрывной машине РМ-50 с программным обеспечением StretchTest по ГОСТ 11262–2017.

Для проведения процесса озонированного окисления готовили 5% водный раствор выбранной марки ПВС. Озон-кислородную смесь получали с помощью озонатора известной конструкции. Установка по озонлизу ПВС в водном растворе показана на рисунке 1. Окисление поливинилового спирта проводили в стеклянной термостатируемой колбе при 70 °С, продувая озон-кислородную смесь через водный раствор ПВС в течение 40 минут. Отбор проб осуществлялся через 10, 20 и 40 минут окисления.

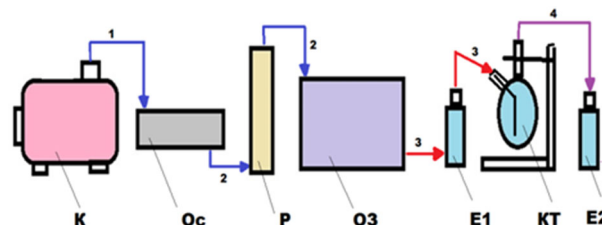


Рисунок 1. Схема установки для озонированного окисления ПВС: К – компрессор, Ос – осушитель, Р – ротаметр, ОЗ – озонатор, Е1, Е2 – емкости поглотительных растворов для количественного анализа озона, КТ – колба термостатируемая; 1 – воздух атмосферный влажный, 2 – воздух осушенный, 3 – озон-кислородная смесь, 4 – отработанная озон-кислородная смесь

Figure 1. Scheme of the installation for ozonated oxidation of PVS

Из исходного и подвергнутого озонлизу растворов ПВС готовили пленки толщиной 80–100 мкм методом полива на полиэтиленовые подложки с последующей сушкой при 20–25 °С в течение 1–2 сут. Следует отметить, что в процессе озонирования наблюдали выделение пузырьков газа из раствора ПВС, что согласуется с известными данными об образовании газов и кислот из промежуточного продукта



окисления ПВС, который накапливается с постоянной скоростью и расходуется по закону реакции первого порядка [10]. Для устранения возможных дефектов пленок, связанных в наличии пузырьков газов в растворе ПВС, перед отливом пленок раствор тщательно перемешивали для максимального устранения газовых продуктов реакции.

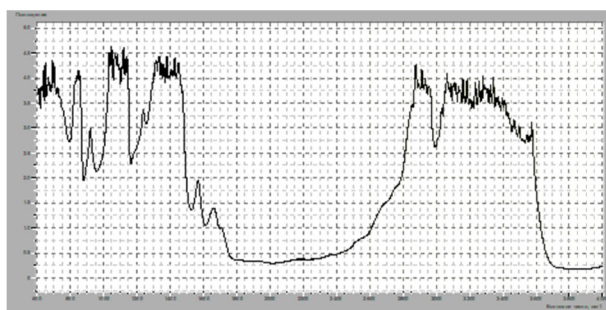
### Результаты и обсуждение

ИК-спектры пленок исходного и модифицированного озонированным окислением в водной среде ПВС показана на рисунках 2 и 3.

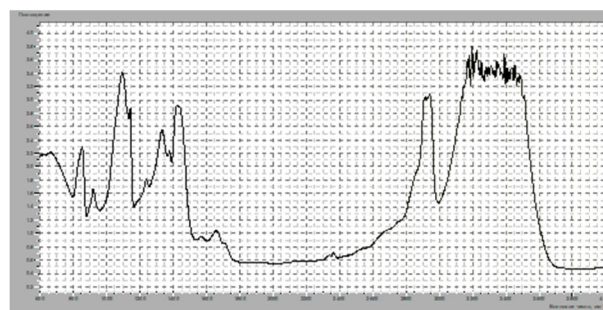
В спектрах пленок ПВС, подвергнутых озонированному окислению (рисунок 2, 3), обнаружены изменения в областях  $1300$ –

$1600\text{ см}^{-1}$ , а также отклонение интенсивности пиков для образца с максимальным временем окисления 40 мин (при сопоставимых толщинах пленок).

Известно, что частота  $1,60\text{ мк}$  в ПВС характерна для гидроксильных групп, образующих водородные связи, а частота  $1,42\text{ мк}$  характерна для свободных гидроксильных групп [19], здесь же автор отмечает, что при нагревании образцов ПВС интенсивность полосы  $1,60\text{ мк}$  постепенно уменьшается, а полосы  $1,49\text{ мк}$  возрастает. Аналогичный факт обнаружен в исследуемых образцах, что очевидно связано с переконформацией макромолекул ПВС, изменением их молекулярной массы (деструкцией), стереорегулярности и степени кристалличности.



(a)



(b)

Рисунок 2. ИК-спектры пленок ПВС: (a) немодифицированного, (b) после 40-минутного озонированного окисления в водной среде

Figure 2. IR spectra of PVS films: (a) unmodified, (b) after 40-minute ozonated oxidation in an aqueous medium

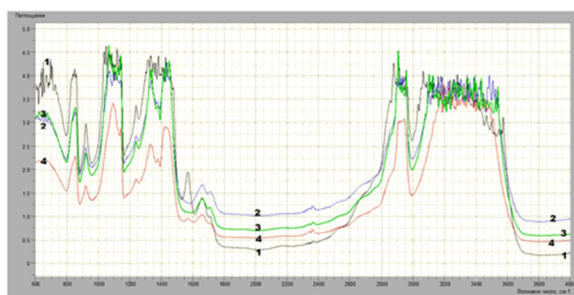


Рисунок 3. Сравнительная характеристика ИК-спектров ПВС от времени озонированного окисления: 1) без окисления, 2) 10-мин., 3) 20-мин., 3) 40-мин

Figure 3. Comparative characteristics of IR spectra of PVS from the time of ozonated oxidation: 1) without oxidation, 2) 10-min., 3) 20-min., 3) 40-min

В работе [20] отмечено, что в случае использования ПВС с различной молекулярной массой (ММ) можно наблюдать возрастание пиков с волновым числом  $1706$  и  $1621\text{ см}^{-1}$

в соответствии с возрастанием молекулярной массы. Для исследуемых образцов также отмечена закономерность снижения интенсивности пика в данной области спектра с повышением времени окисления ПВС озоном, что очевидно свидетельствует о снижении ММ полимера в результате окислительной деструкции.

Авторами [21] также установлено, что для определения степени кристалличности ПВС по его ИК-спектрам возможно использовать отношение интенсивностей полос при  $1144$  и  $1094\text{ см}^{-1}$ .

Наибольшей чувствительностью к структуре водородных связей в ПВС обладают полосы валентных колебаний гидроксильных групп ( $\text{-OH}$ ), которые в случае спиртов лежат в диапазоне  $3100$ – $3700\text{ см}^{-1}$ . На спектрограммах исследуемых образцов отмечено изменение характера кривой в области  $3400$ – $3600\text{ см}^{-1}$ , что также говорит об изменении структуры водородных связей.



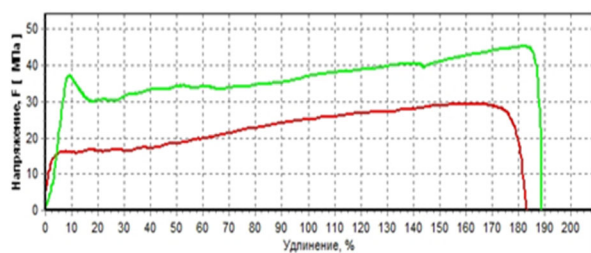
Диаграммы растяжения пленок исходного и модифицированного 20-ти и 40-минутным озонированным окислением ПВС показаны на рисунке 4 (для наглядности представлены результаты тестирования двух из пяти лопаток пленочных образцов, подтверждающие одинаковый характер протекающих процессов в областях линейной и упругой деформации и зоне разрушения полимера).

Численные значения показателей прочности при разрыве, относительного удлинения при разрыве, а также рассчитанные значения модуля Юнга (для областей линейной деформации) сведены в таблицу 1.

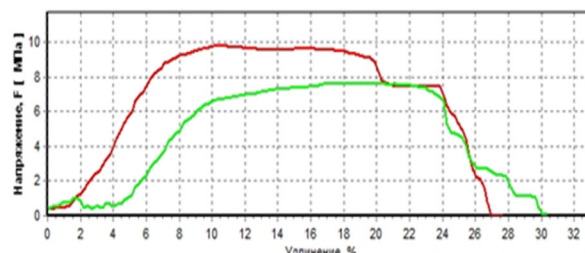
Деформационно-прочностные свойства полимеров зависят от многих параметров: температуры, молекулярной массы и разветвленности макромолекул, наличия поперечных сшивок и гибких звеньев в сополимерах, скорости деформации, давления, степени кристалличности, содержания пластификаторов,

наполнителей и т. д. Пластичность и прочность полимеров резко изменяет молекулярная ориентация. На ход диаграммы растяжения оказывает влияние физическое и фазовое состояние полимера, его структура и релаксационный характер деформации, наиболее ярко проявляющийся в высокоэластическом и вязкотекучем состояниях [19].

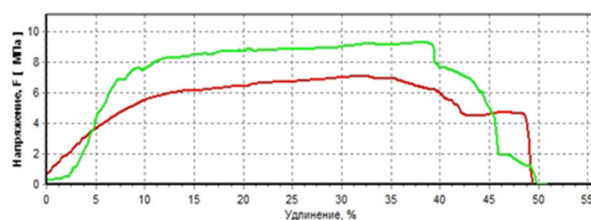
В сшитых химическими связями полимерах на сетку этих связей накладывается флуктуационная сетка физических связей, характеризующаяся существенно меньшей энергией. В первый момент деформирования, внутреннее сопротивление системы определяется общим числом связей (химических и физических) и напряжение резко возрастает. Деформация имеет преимущественно упругий характер (на рис. 4 отмечены области упругих деформаций для всех исследуемых пленок, но модули Юнга окисленного ПВС снижаются более чем в 3 раза, таблица 1).



(a)



(b)



(c)

Рисунок 4. Диаграммы растяжения пленок ПВС: (a) немодифицированного, (b) модифицированного озонлизом в течении 20 мин, в) модифицированного озонлизом в течении 40 мин

Figure 4. Stretching diagrams of PVS films: (a) unmodified, (b) modified by ozonated oxidation for 20 min, c) modified by ozonated oxidation for 40 minutes

Таблица 1.  
Влияние времени озонированного окисления в водной среде на прочностные показатели пленок ПВС

Table 1.  
Influence of the ozonated oxidation time in an aqueous medium on the strength characteristics of PVS films

Показатель Indicator	Значения для образцов, подвергнутых озонированному окислению в течение, мин Values for samples subjected to ozonated oxidation during, min		
	0 (контроль)	20	40

Прочность при разрыве, МПа Tensile strenght, MPA	37	9	8
Удлинение при разрыве, % Elongation at break, %	187	28	50
Модуль Юнга Young's modulus	3	1	0.7

По мере дальнейшего деформирования узлы флуктуационной сетки распадаются (поскольку напряжение в системе соизмеримо с энергией физических связей), при этом макромолекулы легко меняют конформацию,

ориентируюсь в направлении действия силы, и напряжение изменяется незначительно. Но ориентация, в свою очередь, приводит к росту числа узлов, образующихся между ориентированными макромолекулами и, следовательно, к росту напряжения, темп которого зависит от плотности физических сшивок, образующихся в условиях ориентации.

Для немодифицированного ПВС (рис. 4а) видно, что напряжение возрастает в 1.5–2 раза на участке высокоэластической деформации, в отличие от окисленного ПВС, для которого отмечено повышение напряжения в данной области 1.0–1.1 раза. Повышение полярности и молекулярной массы (ММ) полимера обуславливает большие значения напряжения при той же степени деформации вследствие большей плотности физических узлов. Соответственно, при снижении полярности и ММ в результате озонированного окисления ПВС происходит снижение степени его кристалличности и прочности.

Отмечены существенные различия характера диаграммы напряжения в зоне разрушения полимера для немодифицированного и окисленного ПВС, для первого наблюдается резкий обрыв кривой (классическое поведение кристаллических полимеров), для второго случая – ступенчатый переход, что можно связать с повышением аморфности и изменением времени релаксации полимерных цепей.

## Заключение

В результате исследования установлено, что модификация ПВС марки 1799 озонированным окислением в водной среде сопровождается следующим изменением ИК-спектрограмм: в области 1400–1600 см<sup>-1</sup> наблюдается для окисленного озном ПВС резкое снижение интенсивности пика, соответствующего гидроксильным группам, образующим водородные связи, в области 1650–1700 см<sup>-1</sup> отмечена закономерность снижения интенсивности пика с повышением времени окисления ПВС озном, что свидетельствует о снижении ММ полимера в результате окислительной деструкции, в области 3400–3600 см<sup>-1</sup> отмечено изменение характера спектрограммы, что также говорит об изменении структуры водородных связей в окисленном ПВС; физико-механические свойства пленочных образцов подвергнутого 40-минутному озонированному окислению ПВС изменяются в сторону снижения как прочности, так и удлинения при разрыве в среднем в 4 раза, модуль Юнга снижается более чем в 3 раза, а диаграмма растяжения меняет характер в зоне высокоэластической деформации (в 1.5–2 раза снижается интенсивность роста напряжения по мере удлинения пленки при растяжении) и зоне разрушения (диаграмма приобретает ступенчатый характер без резкого обрыва), что связано со снижением молекулярной массы ПВС, приобретением новых функциональных групп, изменением стереорегулярности гидроксильных групп основных полимерных цепей, повышением аморфности и изменением времени их релаксации.

## Литература

- 1 В.М. Гематдинова, Ю.Д. Сидоров, М.А. Поливанов, С.В. Василенко. Регулирование растворимости композиционных материалов на основе поливинилового спирта. Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 6. С. 96–99.
- 2 Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Репин П.С., Зуева Н.В., Матвеева А.В., Мельников А.А. Особенности гидролитической и ферментативной деструкции материалов на основе поливинилового спирта. Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2022. № 4 (86). С. 34–44.
- 3 Carretti E, Bonini M, Dei L, Berrie BH, Angelova LV, Baglioni P, et al. New frontiers in materials science for art conservation: responsive gels and beyond. *AccChemRes*. 2010; 43(6):751–60.
- 4 Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В., Мельников А.А. Повышение прочности и водостойкости материалов на основе поливинилового спирта с помощью борной кислоты. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84. № 2 (92). С. 249–255.
- 5 Al-Emam, E et al. Poly(vinyl alcohol boric acid) – Diclofenac Sodium Salt Drug Delivery Systems: Experimental and Theoretical Studies Characterization of polyvinyl alcohol-borax/agarose (PVA-B/AG) double network hydrogel utilized for the cleaning of works of art. *HeritSci* 8, 106 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00447-3>
- 6 Г.Г. Кутлугильдина, Д.К. Зиннатуллина, Ю.С. Зимин. Кинетика расходования озона в реакции с поливиниловым спиртом. Химия и химическая технология. 2015. том 58 вып. 4. С. 22–25.
- 7 Зимин Ю.С., Валиева А.Ф. (Агеева А.Ф.), Шамсетдинова И.Ф., Борисов И.М., Монаков Ю.Б. Кинетика и механизм окисления поливинилового спирта под действием пероксида водорода. Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. № 1. С. 118–122.

- 8 Qiu K, Netravail AN (2015) Polyvinyl alcohol based biodegradable polymer nano-composites, biodegradable polymers. NovaSciencePublishersInc, NewYork, pp. 325–379.
- 9 R Jayasekara, I Harding, I Bowater, G.B.Y Christie, G.T Lonergan, Preparation, surface modification and characterisation of solution cast starch PVA blended films. *Polymer Testing*. 2004. P. 17–27. [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(03\)00049-7](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(03)00049-7).
- 10 С. Зимин, А.Ф. Агеева, А.В. Янышева, И.М. Борисов, Ю.Б. Монаков. Кинетика озонированного окисления поливинилового спирта в водной среде. *Известия ВУЗов. Химия и химическая технология*. 2004. № 3. С. 119–121.
- 11 Байбуртлы А.В., Плисс Е.М. Окислительные превращения некоторых непредельных соединений под действием озона. *Баш. хим. ж.* 2018. № 2.
- 12 Rakovsky, Anachkov, Iliev, Eliyas. Ozone Degradation of Alcohols, Ketones, Ethers and Hydroxybenzenes: Determination of Pathways and Kinetic Parameters. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*. 16(1):31. 2017. DOI:10.1515/jaots-2013-0104
- 13 Fisher T., Dussault P.H. Tetrahedron. Alkene Ozonolysis. *Tetrahedron*-2017. p. 4233–58. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2017.03.039>.
- 14 Зимин Ю.С. Кинетика и механизм озонированного окисления спиртов, эфиров, кетонов и олефинов в водной среде: автореф. дис... докт. химич. наук: 02.00.04 / Ин-т орган. химии Уфим. науч. центр РАН. Уфа, 2006. 48 с
- 15 Zimin, Y.S., Kutlugildina, G.G. & Sharipova, G.M. Mechanism of oxidative destruction of polyvinyl alcohol under the action of ozone-oxygen mixture in aqueous solutions. *Reac Kinet Mech Cat* 135, 2929–2944 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11144-022-02302-x>
- 16 Валиева А.Ф. Кинетика и механизм окисления поливинилового спирта в водной среде. Автореф. дисс. канд. хим. наук. Уфа. 2007
- 17 Franco Cataldo. On the Complex Ozone Interaction with Polyvinyl Alcohol Aqueous Solutions. *Ozone: Science & Engineering*. 42:6, 478–491 (2019) DOI:10.1080/01919512.2019.1654363
- 18 Franco Cataldo, Giancarlo Angelini, Some aspects of the ozone degradation of poly(vinyl alcohol), *Polymer Degradation and Stability*, – 2006, Pages 2793–2800, ISSN 0141–3910, DOI:10.1016/j.polymdegradstab.2006.02.018
- 19 Тагер А.А. Физико-химия полимеров. Москва. Госхимиздат. 1963. 528 с.
- 20 Артюхов А.А. Сшитые гидрогели поливинилового спирта и их биомедицинское применение. Дисс. докт. хим. наук. Москва. 2017. 307 с.
- 21 N.I. Sushko, S.A. Zagorskaya, and O.N. Tretinnikov. Infrared spectra and structure of poly(vinyl alcohol) films obtained from aqueous solutions with potassium iodide additive. *Journal of applied spectroscopy* V. 80, № 5. 2013. Pp. 695–69

## References

- 1 V.M. Gematdinova, Yu. D. Sidorov, M.A. Polivanov, S.V. Vasilenko. Regulation of solubility of composite materials based on polyvinyl alcohol. *Bulletin of the Technological University*. 2016. Vol.19. No.6. pp.96–99.
- 2 Studenikina L.N., Domareva S. Yu., Repin P.S., Zueva N.V., Matveeva A.V., Melnikov A.A. Features of hydrolytic and enzymatic destruction of materials based on polyvinyl alcohol. *Issues of modern science and practice*. V.I. Vernadsky University. 2022. No. 4 (86). pp. 34–44.
- 3 Carretti E., Bonini M., Dei L., Berry B.H., Angelova L.V., Baglioni P. et al. New frontiers in materials science for the preservation of works of art: responsive gels and more. *AccChemRes*. 2010; 43(6):751–60.
- 4 Studenikina L.N., Domareva S. Yu., Golenskikh Yu. E., Matveeva A.V., Melnikov A.A. Increasing the strength and water resistance of materials based on polyvinyl alcohol using boric acid. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2022. Vol. 84. No. 2 (92). pp. 249–255.
- 5 Al-Emam E., Soenen H., Kan J. and others. Poly (Boric Acid Vinyl Alcohol) Drug Delivery Systems-Diclofenac sodium salt: Experimental and theoretical studies of the characteristics of a double-mesh polyvinyl alcohol-borax/agarose (PVA-B/AG) hydrogel used for cleaning works of art. *Legacy* 8, 106 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00447-3>
- 6 G.G. Kutlugildina, D.K. Zinnatullina, Y.S. Zimin. Kinetics of ozone consumption in reaction with polyvinyl alcohol. *Chemistry and chemical technology*. 2015. volume 58 issue. 4. pp. 22–25.
- 7 Zimin Yu. S., Valieva A.F. (Ageeva A.F.), Shamsetdinova I.F., Borisov I.M., Monakov Yu. B. Kinetics and mechanism of oxidation of polyvinyl alcohol under the action of hydrogen peroxide. *Bashkir Chemical Journal*. 2006. Vol. 13. No. 1. pp. 118–122.
- 8 Qiu K., Netravail An (2015) Biodegradable polymer nanocomposites based on polyvinyl alcohol, biodegradable polymers. NovaSciencePublishersInc, New York, pp. 325–379.
- 9 R. Jayasekara, I. Harding, I. Bowater, G.B. And Christie, G.T. Lonergan, Preparation, surface modification and characterization of films from a mixture of starch and PVA cast from a solution. *Polymer testing*. 2004. pp. 17–27. [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(03\)00049-7](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(03)00049-7).
- 10 Yu. S. Zimin, A.F. Ageeva, A.V. Yanyшева, I.M. Borisov, Yu. B. Monakov. Kinetics of ozonated oxidation of polyvinyl alcohol in an aqueous medium. *News of universities. Chemistry and chemical technology*. 2004. No. 3. pp.119–121.
- 11 Bayburtly A.V., Pliss E.M. Oxidative transformations of some unsaturated compounds under the action of ozone. *Bash. chem. zh.* 2018. No. 2.
- 12 Rakovsky, Anachkov, Iliev, Eliyas. Decomposition of alcohols, ketones, esters and hydroxybenzenes by ozone: determination of pathways and kinetic parameters. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*. 16(1):31. 2017. DOI:10.1515/jaots-2013-0104
- 13 Fischer T., Dussault P.H. Tetrahedron. Ozonolysis of alkene. *Tetrahedron*-2017. pp.4233–58. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2017.03.039>.

14 Zimin Yu. C Kinetics and mechanism of ozonated oxidation of alcohols, esters, ketones and olefins in an aqueous medium: abstract. dis... doct. chemical sciences: 02.00.04 / In-t organ. chemistry of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Ufa, 2006. 48 s

15 Zimin Yu. S., Kutlugildina G.G., Sharipova G.M. Mechanism of oxidative degradation of polyvinyl alcohol under the action of an ozone-oxygen mixture in aqueous solutions. *Reactive Kinetic Mechanism Cat* 135, 2929–2944 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11144-022-02302-x>

16 Valieva A.F. Kinetics and mechanism of oxidation of polyvinyl alcohol in an aqueous medium. Abstract of the dissertation of the Candidate of Chemical Sciences. Ufa.2007

17 Franco Cataldo. On the complex interaction of ozone with aqueous solutions of polyvinyl alcohol. *Ozone: Science and Technology*. 42:6, 478–491 (2019) DOI:10.1080/01919512.2019.1654363

18 Franco Cataldo, Giancarlo Angelini, Some aspects of ozone depletion of polyvinyl alcohol, *Polymer degradation and stability*, – 2006, Pages 2793–2800, ISSN 0141–3910, DOI:10.1016/j.polymdegradstab.2006.02.018

19 Tager A.A. Physico-chemistry of polymers. Moscow. Goskhimizdat. 1963. 528 p.

20 Artyukhov A.A. Cross-linked polyvinyl alcohol hydrogels and their biomedical application. Diss. Doctor of Chemical Sciences. Moscow. 2017. 307 p.

21 Sushko N.I. et al. Infrared spectra and structure of polyvinyl alcohol films obtained from aqueous solutions with the addition of potassium iodide. *Journal of Applied Spectroscopy*, vol. 80, No. 5. 2013. pp. 695–699

#### Сведения об авторах

**Любовь Н. Студеникина** к.т.н., доцент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [lubov-churkina@ya.ru](mailto:lubov-churkina@ya.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

**Артём В. Протасов** к.т.н., доцент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [pav-vgta86@mail.ru](mailto:pav-vgta86@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0003-0196-7734>

**Данил А. Борзенков** студент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, [danielborzenkov1@ya.ru](mailto:danielborzenkov1@ya.ru)

<https://orcid.org/>

**Александр А. Мельников** студент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, [melnikov.shura@inbox.ru](mailto:melnikov.shura@inbox.ru)

<https://orcid.org/0000-0003-3763-7120>

**Светлана Ю. Домарева** студент, кафедра промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, [domarevasveta@gmail.com](mailto:domarevasveta@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-0524-8948>

#### Вклад авторов

**Любовь Н. Студеникина** предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

**Артём В. Протасов** консультация в ходе исследования

**Данил А. Борзенков** **Александр А. Мельников**

**Светлана Ю. Домарева** обзор литературных источников по исследуемой проблеме

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Lubov N. Studenikina** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial ecology, equipment for chemical and petrochemical, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [lubov-churkina@ya.ru](mailto:lubov-churkina@ya.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

**Artem V. Protasov** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial ecology, equipment for chemical and petrochemical, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [pav-vgta86@mail.ru](mailto:pav-vgta86@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0003-0196-7734>

**Danil A. Borzenkov** student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [danielborzenkov1@ya.ru](mailto:danielborzenkov1@ya.ru)

<https://orcid.org/>

**Alexandr A. Melnikov** student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [melnikov.shura@inbox.ru](mailto:melnikov.shura@inbox.ru)

<https://orcid.org/0000-0003-3763-7120>

**Svetlana Y. Domareva** student, industrial ecology, chemical and petrochemical production equipment department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [domarevasveta@gmail.com](mailto:domarevasveta@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-0524-8948>

#### Contribution

**Lubov N. Studenikina** proposed a scheme of the experiment and organized production trials

**Artem V. Protasov** consultation during the study

**Danil A. Borzenkov**

**Alexandr A. Melnikov**

**Svetlana Y. Domareva** review of the literature on an investigated problem






#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/09/2022	После редакции 10/10/2022	Принята в печать 15/10/2022
Received 21/09/2022	Accepted in revised 10/10/2022	Accepted 15/10/2022



## Свойства и структурные особенности эпоксикомпозитов, армированных модифицированным ПАН-жгутиком

Наталья Г. Зубова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:zubova_aptech@mail.ru">zubova_aptech@mail.ru</a>	 0000-0003-2678-2568
Виктория М. Герасимова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:gerasimova.victoria@ya.ru">gerasimova.victoria@ya.ru</a>	 0000-0001-7619-6511
Наталья Л. Левкина	<sup>2</sup>	<a href="mailto:levkinan78@yandex.ru">levkinan78@yandex.ru</a>	 0000-0002-6836-9264
Татьяна П. Устинова	<sup>2</sup>	<a href="mailto:ustinovatp@mail.ru">ustinovatp@mail.ru</a>	 0000-0003-1333-7000
Константин Б. Костин	<sup>3</sup>	<a href="mailto:kbkoston@gmail.com">kbkoston@gmail.com</a>	 0000-0001-6934-9399

<sup>1</sup> Балаковский инженерно-технологический институт, ул. Чапаева, 140, г. Балаково, Саратовская обл., 413800, Россия



<sup>2</sup> Энгельский технологический институт, пл. Свободы, 17, г. Энгельс, Саратовская обл., 413111, Россия

<sup>3</sup> Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., ул. Политехническая, 77, г. Саратов, 410054, Россия

**Аннотация.** Эксплуатационные характеристики композиционных материалов, армированных полиакрилонитрильным техническим жгутиком (ПАН-ТЖ), обладающим реакционной активностью функциональных групп, могут быть улучшены путем его модификации. Целью работы являлось исследование влияния полиакрилонитрильных волокнистых материалов, аппретированных модификаторами АГМ-9, А-187, А-174 и Duron OS 3151, на кинетику процесса отверждения эпоксидной смолы ЭД-20, структурные особенности разработанных композитов и их эксплуатационные свойства. В работе применялись методы кинетического исследования, дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), сканирующей электронной микроскопии и механических испытаний композиционных материалов. Показано влияние модифицированных ПАН-ТЖ на изменение кинетики процесса отверждения эпоксидного связующего, характеризующееся увеличением времени отверждения, уменьшением максимальной температуры отверждения и снижением энергии активации отверждения ЭД-20. Результаты кинетических исследований подтверждаются данными ДСК эпоксидных композиций на основе модифицированных ПАН-ТЖ, которые показывают снижение максимальной температуры и увеличение тепловых эффектов процесса отверждения ЭД-20 в присутствии исследуемых армирующих систем по сравнению с эпоксикомпозитом, армированным немодифицированным жгутиком. Структурообразование эпоксидных композиций в более мягких условиях обеспечивает образование контактной зоны между элементарными волокнами и связующим, способствующей повышению монолитности пластиков по сравнению с композитом на основе исходного ПАН-ТЖ. Сравнительный анализ прочностных свойств исследуемых композитов показал, что при введении в ЭД-20 аппретированных ПАН-ТЖ наблюдается улучшение прочностных показателей. Проведенная оценка кинетических параметров, структурных особенностей и прочностных свойств разработанных композитов, армированных модифицированными ПАН-ТЖ, свидетельствует о повышении поверхностной активности волокнистых материалов в результате их модификации.

**Ключевые слова:** полиакрилонитрильный технический жгут, модификаторы, эпоксидное связующее, кинетика отверждения, композиционные материалы, морфология поверхности, деформационно-прочностные свойства.

## Properties and structural features of epoxycomposites reinforced with modified PAN- flagellum

Natalya G. Zubova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:zubova_aptech@mail.ru">zubova_aptech@mail.ru</a>	 0000-0003-2678-2568
Victoria M. Gerasimova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:gerasimova.victoria@ya.ru">gerasimova.victoria@ya.ru</a>	 0000-0001-7619-6511
Natalya L. Levkina	<sup>2</sup>	<a href="mailto:levkinan78@yandex.ru">levkinan78@yandex.ru</a>	 0000-0002-6836-9264
Tatyana P. Ustinova	<sup>2</sup>	<a href="mailto:ustinovatp@mail.ru">ustinovatp@mail.ru</a>	 0000-0003-1333-7000
Konstantin B. Kostin	<sup>3</sup>	<a href="mailto:kbkoston@gmail.com">kbkoston@gmail.com</a>	 0000-0001-6934-9399

<sup>1</sup> Balakovo Institute of Engineering and Technology, st. Chapaev, 140, Balakovo, Saratov region, 413800, Russia

<sup>2</sup> Engels Institute of Technology, Svobody Square, 17, Engels, Saratov region, 413111, Russia

<sup>3</sup> Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University, st. Polytechnic, 77, Saratov, 410054, Russia

**Abstract.** The performance characteristics of composite materials reinforced with polyacrylonitrile technical flagellum (PAN-TF), which has the reactivity of functional groups, can be improved by modifying it. The aim of the work was to study the effect of polyacrylonitrile fibrous materials, applied with AGM-9, A-187, A-174 and Duron OS 3151 modifiers, on the kinetics of the ED-20 epoxy resin curing process, structural features of the developed composites and their operational properties. The methods of kinetic research, differential scanning calorimetry (DSC), scanning electron microscopy and mechanical testing of composite materials were used in the work. The effect of modified PAN-TF on the change in the kinetics of the curing process of the epoxy binder is shown, characterized by an increase in the curing time, a decrease in the maximum curing temperature and a decrease in the activation energy of the curing ED-20. The results of kinetic studies are confirmed by the data of DSC epoxy compositions based on modified PAN-TF, which show a decrease in the maximum temperature and an increase in the thermal effects of the ED-20 curing process in the presence of the studied reinforcing systems compared with epoxy composite reinforced with unmodified flagellum. The structure formation of epoxy compositions under milder conditions ensures the formation of a contact zone between the elementary fibers and the binder, which contributes to an increase in the solidity of plastics compared to a composite based on the original PAN-TF. A comparative analysis of the strength properties of the studied composites showed that when applied to ED-20, there is an improvement in strength indicators. The assessment of kinetic parameters, structural features and strength properties of the developed composites reinforced with modified PAN-TF indicates an increase in the surface activity of fibrous materials as a result of their modification.

**Keywords:** polyacrylonitrile technical flagellum, modifiers, epoxy binder, curing kinetics, composite materials, surface morphology, deformation and strength properties.

### Для цитирования

Зубова Н.Г., Герасимова В.М., Левкина Н.Л., Устинова Т.П., Костин К.Б. Свойства и структурные особенности эпоксикомпозитов, армированных модифицированным ПАН-жгутиком // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 200–205. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-200-205

### For citation

Zubova N.G., Gerasimova V.M., Levkina N.L., Ustinova T.P., Kostin K.B. Properties and structural features of epoxycomposites reinforced with modified PAN- flagellum. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 200–205. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-200-205

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

## Введение

Полиакрилонитрильный технический жгут, обладающий реакционной активностью функциональных групп [1–4] и способностью к улучшению физико-механических свойств и адгезионной совместимости к эпоксидному связующему вследствие его аппретирования модификаторами – 3-аминопропилтриэтоксисиланом (АГМ-9), 3-глицидоксипропилтриметоксисиланом (А-187), 3-метакрилоксипропилтриметоксисиланом (А-174), комбинацией гликолевых эфиров жирных кислот – Duron OS 3151, может быть рекомендован в качестве перспективной армирующей системы в технологии армированных пластиков [5–16].

**Цель работы** – исследование влияния модифицированных полиакрилонитрильных волокнистых материалов на кинетику процесса отверждения эпоксидной смолы, структурные особенности разработанных композитов и их эксплуатационные свойства.

## Материалы и методы

Армированные пластики получали путем введения в смесь эпоксидной смолы ЭД-20 (ГОСТ 10587–84, ФКП «Завод имени Я.М. Свердлова», Россия) и отвердителя полиэтиленполиамин (ТУ 2413–066–18777143–15, ЗАО «Завод органических продуктов», Россия) (массовое соотношение ЭД-20 и ПЭПА – 10:1) однонаправленного непрерывного полиакрилонитрильного технического жгута (ПАН-ТЖ) (ТУ 6–06-С253–87, ООО «СНВ», Россия) (массовое соотношение ЭД-20 и ПАН-ТЖ 1:1), предварительно модифицированного 5%-ными водными растворами аппретов: АГМ-9 (CAS 919–30–2, ООО «Пента силиконы», Россия), А-187 (CAS 2530–83–8, ООО «Пента силиконы», Россия), А-174 (CAS 2530–85–0, ООО «Пента силиконы», Россия) и Duron OS 3151 (1907/2006/EG, СНТ Р. Beitlich GMBH, Германия). Формование волокнонаполненной эпоксидной композиции проводили компрессионным прессованием (температура  $110 \pm 5$  °C, давление  $5 \pm 0,5$  МПа).

Кинетику процессов структурообразования эпоксикомпозиций, содержащих модифицированные волокнистые материалы, исследовали по изменению времени гелеобразования, времени отверждения, максимальной температуры отверждения, энергии активации и тепловых эффектов отверждения, определяемых на дифференциальном сканирующем калориметре DSC-500B (ГОСТ Р 55134–2012) [17–19]. Степень отверждения определялась весовым методом.

При помощи автоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа MIRA 2 LMU и сканирующего электронного микроскопа Aspek Explorer со встроенным энергодисперсионным детектором изучена морфология поверхности композитов [20].

Механические испытания образцов эпоксидных композиционных материалов на растяжение, сжатие и изгиб проводили на разрывной машине ИР 5046–5 (ГОСТ 11262–2017, ГОСТ 4651–2014, ГОСТ 4648–2014), на твердость по Бринеллю – на твердомере ТМ-2М (ГОСТ 4670–2015). При этом скорость растяжения составляла  $5 \pm 1,0$  мм/мин, скорость сжатия –  $2 \pm 1,0$  мм/мин, скорость нагружения при испытании на изгиб –  $2 \pm 0,5$  мм/мин.

## Результаты и обсуждение

Для анализа влияния модифицированных полиакрилонитрильных жгутов на процесс структурообразования эпоксикомпозиций при отверждении эпоксидного связующего были получены кривые отверждения (рисунок 1), по которым были определены параметры процесса отверждения (таблица 1).

По данным проведенного исследования видно, что модификация полиакрилонитрильных жгутов практически не влияет на время гелеобразования, но увеличивает время отверждения на 11–17% и снижает максимальную температуру отверждения на 20–25%. Изменение данных кинетических показателей является следствием повышения поверхностной активности волокнистых материалов в результате их модификации и свидетельствует о структурообразовании эпоксидной матрицы в более мягких условиях. Кроме того, введение модифицированных волокон в эпоксидное связующее обеспечивает снижение энергии активации процесса отверждения (на 16–24%) и способствует повышению степени отверждения эпоксидных композитов.

Результаты исследования кинетики отверждения композиций на основе модифицированных полиакрилонитрильных волокнистых материалов подтверждаются данными дифференциальной сканирующей калориметрией (ДСК) (таблица 2), характеризующими снижение максимальной температуры отверждения эпоксидного связующего (на 15–19%). При этом наблюдается увеличение тепловых эффектов процесса отверждения эпоксидного связующего при введении модифицированных армирующих систем (на 8–13%) по сравнению с эпоксикомпозитом на основе немодифицированного ПАН-жгута.

Результаты сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) поверхности исследуемых композитов приведены на рисунке 2.



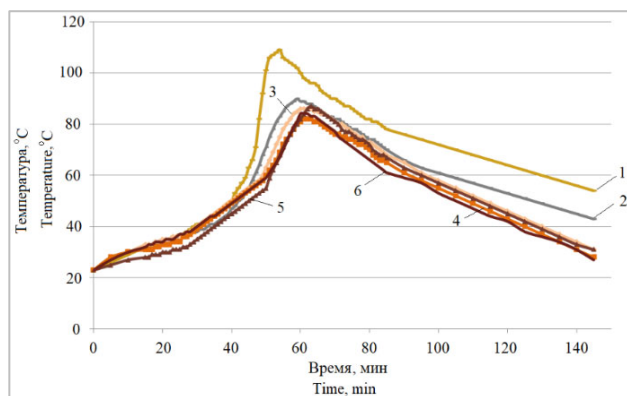


Рисунок 1. Кинетические кривые процесса отверждения эпоксикомпозитов: 1 – ЭД-20; 2 – ЭД-20+ПАН-ТЖ; 3 – ЭД-20+ПАН-ТЖ+АГМ-9; 4 – ЭД-20+ПАН-ТЖ+А-187; 5 – ЭД-20+ПАН-ТЖ+А-174; 6 – ЭД-20+ПАН-ТЖ+Duron OS 3151

Figure 1. Kinetic curves of the curing process of epoxycompositions: 1 – ED-20; 2 – ED-20+PAN-TF; 3 – ED-20+PAN-TF+AGM-9; 4 – ED-20+PAN-TF+A-187; 5 – ED-20+PAN-TF+A-174; 6 – ED-20+PAN-TF+Duron OS 3151

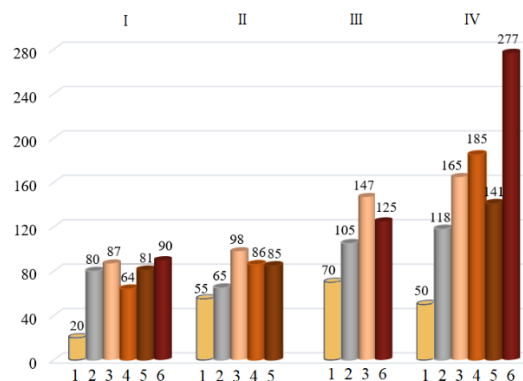


Рисунок 2. Деформационно-прочностные свойства эпоксикомпозитов (I – разрушающее напряжение при растяжении, МПа; II – разрушающее напряжение при сжатии, МПа; III – изгибающее напряжение, МПа; IV – твердость по Бринеллю, МПа): 1 – ЭД-20; 2 – ЭД-20+ПАН-ТЖ; 3 – ЭД-20+ПАН-ТЖ+АГМ-9; 4 – ЭД-20+ПАН-ТЖ+А-187; 5 – ЭД-20+ПАН-ТЖ+А-174; 6 – ЭД-20+ПАН-ТЖ+Duron OS 3151

Figure 2. Deformation and strength properties of epoxycomposites (I – tensile stress, MPa; II – compressive stress, MPa; III – bending stress, MPa; IV – Brinell hardness, MPa): 1 – ED-20; 2 – ED-20+PAN-TF; 3 – ED-20+PAN-TF+AGM-9; 4 – ED-20+PAN-TF+A-187; 5 – ED-20+PAN-TF+A-174; 6 – ED-20+PAN-TF+Duron OS 3151

Таблица 1.

Параметры процесса отверждения эпоксикомпозитов

Table 1.

Parameters of the curing process of epoxycompositions

Состав пластиков Composition of plastics	Время, мин Time, min		Максимальная температура отверждения, °C Maximum curing temperature, °C	Энергия активации, кДж/моль Activation energy, kJ/mol	Степень отверждения, % Curing degree, %
	гелеобразования gelation	отверждения curing			
ЭД-20   ED-20	27	54	109	58	96
ЭД-20+ПАН-ТЖ   ED-20+PAN-TF	27	59	90	58	99
ЭД-20+ПАН-ТЖ+АГМ-9 ED-20+PAN-TF+AGM-9	27	60	86	44	99
ЭД-20+ПАН-ТЖ+А-187 ED-20+PAN-TF+A-187	26	61	82	45	99
ЭД-20+ПАН-ТЖ+А-174 ED-20+PAN-TF+A-174	27	63	87	49	99
ЭД-20+ПАН-ТЖ+Duron OS 3151 ED-20+PAN-TF+Duron OS 3151	28	60	84	48	99

Таблица 2.

Результаты ДСК эпоксидных композиций

Table 2.

Results of DSC epoxy compositions

Состав пластиков Composition of plastics	(T <sub>н</sub> -T <sub>к</sub> ), °C	T <sub>max</sub> , °C	Тепловой эффект процесса отверждения, Дж/г Thermal effect of the curing process, J/g
ЭД-20   ED-20	66–176	110	559
ЭД-20+ПАН-ТЖ   ED-20+PAN-TF	60–168	96	288
ЭД-20+ПАН-ТЖ+АГМ-9   ED-20+PAN-TF+AGM-9	56–165	93	325
ЭД-20+ПАН-ТЖ+А-187   ED-20+PAN-TF+A-187	58–165	89	324
ЭД-20+ПАН-ТЖ+А-174   ED-20+PAN-TF+A-174	59–166	94	314
ЭД-20+ПАН-ТЖ+Duron OS 3151   ED-20+PAN-TF+Duron OS 3151	57–167	91	312

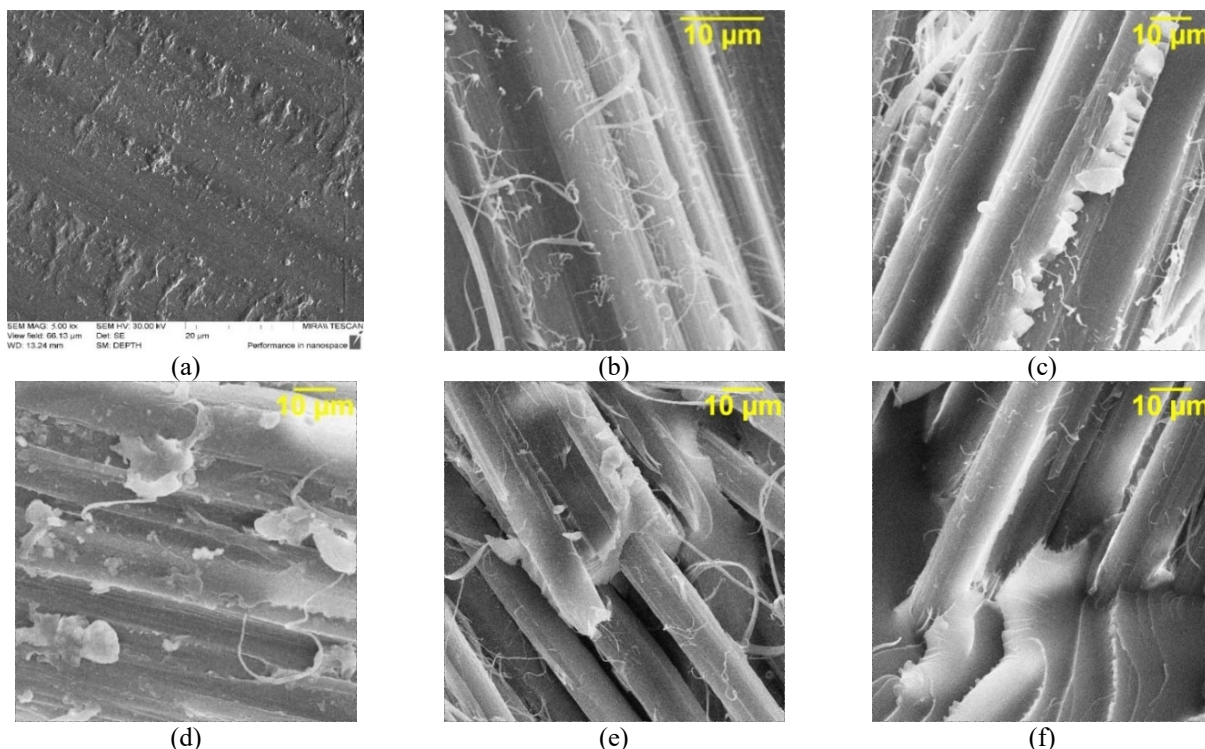


Рисунок 3. Фотографии поверхности композитов, полученные методом СЭМ (n=2500): (a) – ЭД-20; (b) – ЭД-20+ПАН-ТЖ; (c) – ЭД-20+ПАН-ТЖ+АГМ-9; (d) – ЭД-20+ПАН-ТЖ+А-187; (e) – ЭД-20+ПАН-ТЖ+Duron OS 3151

Figure 3. Photos of the surface of composites obtained by the SEM method (n=2500): (a) – ED-20; (b) – ED-20+PAN-TF; (c) – ED-20+PAN-TF+AGM-9; (d) – ED-20+PAN-TF+A-187; (e) – ED-20+PAN-TF+A-174; (f) – ED-20+PAN-TF+Duron OS 3151

Фотографии морфологии поверхности образцов композитов, армированных модифицированными АГМ-9, А-187, А-174 и Duron OS 3151 полиакрилонитрильными жгутиками (рисунок 2, в-е) показывают наличие контактной зоны между элементарными волокнами и эпоксидным связующим, способствующей повышению монолитности пластиков по сравнению с композитом на основе исходного ПАН-ТЖ (рисунок 2, б).

По данным механических испытаний разработанных композитов (рисунок 3) видно, что при введении аппретированных полиакрилонитрильных нитей в ЭД-20 наблюдается улучшение прочностных показателей по сравнению

с пластиком, армированным немодифицированным волокном: разрушающее напряжение при сжатии увеличивается на 31–51%, изгибающее напряжение – на 19–40%, твердость по Бринеллю – на 19–134%.

### Заключение

Введение ПАН-ТЖ, аппретированных АГМ-9, А-187, А-174 и Duron OS 3151, повышающими поверхностную активность нитей, в эпоксидное связующее способствует формированию монолитной структуры композиционных материалов в более мягких условиях и сопровождается улучшением их деформационно-прочностных свойств.

### Литература

- 1 Yang Z., Yao Y., Huang Y., Chen W., Dong X. Surface Modification Method of Polyacrylonitrile (PAN) Fibers by L-cysteine Coupling Protein // *Fibers Polymers*. 2019. V. 20. P. 2581–2586. DOI: 10.1007/s12221-019-9343-8
- 2 Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. СПб: Научные основы и технологии, 2009. 380 с.
- 3 Хасанов О.Х., Исмаилов Р.И. Модификация полиакрилонитрильных волокон мономерными солями на основе аминокислот с галоидсодержащими веществами // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2021. № 1 (319). С. 66–72. DOI: 10.47367/0021-3497\_2021\_1\_66
- 4 Sunil S., Abhilas J.K., Kumar A., Shukla H.K. Oxidative Stabilization Studies on Pretreated Polyacrylonitrile Precursor Fiber Suitable For Carbon Fiber. Production // *AIP Conference Proceedings*, Published Online, 25 October, 2019. V. 2166. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5131605> (дата обращения 25.01.2023).
- 5 Цвайфель Х. и др. Добавки к полимерам. Справочник. СПб: ЦОП «Профессия», 2016. 1088 с.

- 6 Rogovina S.Z., Prut E.V., Berlin A.A. Composite Materials Based on Synthetic Polymers Reinforced with Natural Fibers // *Polymer Science, Series A*. 2019. V. 61. P. 417–438. DOI: 10.1134/S0965545X19040084
- 7 Khandelwal S., Rhee K.Y. Recent advances in basalt-fiber-reinforced composites: Tailoring the fiber-matrix interface // *Composites Part B: Engineering*. 2020. V. 192. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.compositesb.2020.108011
- 8 Shapagin A.V. et al. Epoxyorganosilane Finishing Compositions for Fibrous Fillers of Thermosetting and Thermoplastic Binders // *Polymers*. 2022. V. 14. № 1. P. 59–73. DOI: 10.3390/polym14010059
- 9 Rajan R., Rainosalo E., Thomas S.P., Ramamoorthy S.K., Zavašnik J., Vuorinen J., Skrifvars M. Modification of epoxy resin by silane-coupling agent to improve tensile properties of viscose fabric composites // *Polymer Bulletin*. 2018. V. 75. P. 167–195. DOI: 10.1007/s00289-017-2022-2
- 10 Musayeva A. Yu. et al. Properties of modified epoxy resins (Review) // *Sciences of Europe*. 2018. № 33. P. 22–29.
- 11 Rajan R. et al. Mechanical, Thermal and Burning Properties of Viscose Fabric Composites – Influence of Epoxy Resin Modification // *Journal of Applied Polymer Science*. 2018. V. 135. № 36. P. 1134–1148.
- 12 Shcherbakov A.S. et al. Effect of Carbon Nanotube Functionalization on the Physicochemical and Mechanical Properties of Modified Fiber-Reinforced Composites Based on an Epoxy Resin. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2021. V. 94, P. 1080–1087. DOI: 10.1134/S1070427221080097
- 13 Liu F., Shi Z., Dong Yu. Improved wettability and interfacial adhesion in carbon fibre/epoxy composites via an aqueous epoxy sizing agent // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018. V. 112. P. 337–345. DOI: 10.1016/j.compositesa.2018.06.026
- 14 Belgacemi R., Derradji M., Mehelli O., Trache D., Liu W., Wang J. Highly advanced phthalonitrile composites from epoxy-ended hyperbranched poly(trimellitic anhydride ethylene glycol) ester grafted basalt fibers // *Polymer Composites*. 2021. V. 42. № 8. P. 3882–3891. DOI: 10.1002/pc.26100
- 15 Korchina L.V., Zubova N.G., Popova N.E., Ustinova T.P. Effect of polyacrylonitrile fibers modified by various chemical finishes on the hardening kinetics proprieties of an epoxide composite based on them // *Fibre Chemistry*. 2015. № 6. P. 360–362. DOI: 10.1007/s10692-015-9621-1
- 16 Зубова Н.Г., Устинова Т.П. Оценка эффективности процесса получения модифицированного ПАН-ТЖ, используемого в технологии эпоксидных композитов // *Материалы международного научно-технического симпозиума «EESTE-2021»*, Москва, 20–21 октября, 2021. – С. 297–300. DOI: 10.37816/eeste-2021-1-297-300
- 17 Грелльманн В., Зайдлер С. Испытания пластмасс. СПб: ЦОП «Профессия», 2010. 720 с.
- 18 Блазнов А.Н., Журковский М.Е., Фирсов В.В., Самойленко В.В., Бычин Н.В., Атысова Е.В. Исследование физико-механических свойств связующего на основе отвердителя Этал-45М // *Южно-Сибирский научный вестник*. 2019. № 3 (27). С. 100–107. DOI: 10.25699/SSSB.2019.27.37228
- 19 Нган Н.В. и др. Влияние кремнийорганического модификатора на процесс отверждения эпоксидного олигомера // *Успехи в химии и химической технологии*. 2018. Т. XXXII. № 6. С. 106–108.
- 20 Rydz J., Shishkova A., Eckstein A.A. Scanning Electron Microscopy and Atomic Force Microscopy: Topographic and Dynamical Surface Studies of Blends, Composites, and Hybrid Functional Materials for Sustainable Future // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019. V. 2019. P. 1–16. DOI: 10.1155/2019/6871785


## References

- 1 Yang Z., Yao Y., Huang Y., Chen W., Dong X. Surface Modification Method of Polyacrylonitrile (PAN) Fibers by L-cysteine Coupling Protein. *Fibers Polymers*. 2019. vol. 20. pp. 2581–2586. doi: 10.1007/s12221-019-9343-8
- 2 Perepelkin K.E. Reinforcing fibers and fibrous polymeric composites. SPb, Scientific foundations and technologies, 2009. 380 p. (in Russian).
- 3 Khasanov O. Kh., Ismailov R.I. Modification of polyacrylonitrile fibers monomeric salts based on aminoalkyl acrylates with halogen containing substances. *Proceedings of higher education institutions. Textile industry technology*. 2021. no 1 (319). pp. 66–72. doi: 10.47367/0021-3497\_2021\_1\_66 (in Russian).
- 4 Sunil S., Abhilas J.K., Kumar A., Shukla H.K. Oxidative Stabilization Studies on Pretreated Polyacrylonitrile Precursor Fiber Suitable For Carbon Fiber. Production. AIP Conference Proceedings, Published Online, 25 October, 2019. vol. 2166. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.5131605> (дата обращения 25.01.2023).
- 5 Zweifel H., Maier R.D., Schiller M. *Plastics Additives*. Handbook. SPb: CEP "Profession", 2016. 1088 p. (in Russian).
- 6 Rogovina S.Z., Prut E.V., Berlin A.A. Composite Materials Based on Synthetic Polymers Reinforced with Natural Fibers. *Polymer Science, Series A*. 2019. vol. 61. pp. 417–438. doi: 10.1134/S0965545X19040084
- 7 Khandelwal S., Rhee K.Y. Recent advances in basalt-fiber-reinforced composites: Tailoring the fiber-matrix interface. *Composites Part B: Engineering*. 2020. vol. 192. pp. 1–13. doi: 10.1016/j.compositesb.2020.108011
- 8 Shapagin A.V. et al. Epoxyorganosilane Finishing Compositions for Fibrous Fillers of Thermosetting and Thermoplastic Binders. *Polymers*. 2022. vol. 14. no 1. pp. 59–73. doi: 10.3390/polym14010059
- 9 Rajan R. et al. Modification of epoxy resin by silane-coupling agent to improve tensile properties of viscose fabric composites. *Polymer Bulletin*. 2018. vol. 75. pp. 167–195. doi: 10.1007/s00289-017-2022-2
- 10 Musayeva A. Yu. et al. Properties of modified epoxy resins (Review). *Sciences of Europe*. 2018. No 33. P. 22–29.
- 11 Rajan R. et al. Mechanical, Thermal and Burning Properties of Viscose Fabric Composites – Influence of Epoxy Resin Modification. *Journal of Applied Polymer Science*. 2018. vol. 135. no. 36. pp. 1134–1148.
- 12 Shcherbakov A.S., Mostovoy A.S., Yakovlev N.A., Arzamastsev S.V. Effect of Carbon Nanotube Functionalization on the Physicochemical and Mechanical Properties of Modified Fiber-Reinforced Composites Based on an Epoxy Resin. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2021. vol. 94. pp. 1080–1087. doi: 10.1134/S1070427221080097
- 13 Liu F., Shi Z., Dong Yu. Improved wettability and interfacial adhesion in carbon fibre/epoxy composites via an aqueous epoxy sizing agent. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018. vol. 112. pp. 337–345. doi: 10.1016/j.compositesa.2018.06.026


- 14 Belgacemi R., Derradji M., Mehelli O., Trache D., Liu W., Wang J. Highly advanced phthalonitrile composites from epoxy-ended hyperbranched poly(trimellitic anhydride ethylene glycol) ester grafted basalt fibers. *Polymer Composites*. 2021. vol. 42. no 8. pp. 3882–3891. doi: 10.1002/pc.26100
- 15 Korchina L.V., Zubova N.G., Popova N.E., Ustinova T.P. Effect of polyacrylonitrile fibers modified by various chemical finishes on the hardening kinetics proprieties of an epoxide composite based on them. *Fibre Chemistry*. 2015. no 6. pp. 360–362. doi: 10.1007/s10692-015-9621-1
- 16 Zubova N.G., Ustinova T.P. Evaluation of the efficiency of the process of obtaining modified PAN-TF used in the technology of epoxy composites. Materials of the International Scientific and technical symposium «EESTE-2021», Moscow, October 20–21, 2021. – pp. 297–300. doi: 10.37816/eeste-2021-1-297-300. (in Russian).
- 17 Grellmann V., Seidler S. *Polymer Testing*. SPb: CEP "Profession", 2010. 720 p. (in Russian).
- 18 Blaznov A.N. et al. Study of physicomachanical behavior of binder based on Etal-45M curing agent // *South-Siberian Scientific Bulletin*. 2019. no 3 (27). pp. 100–107. doi: 10.25699/SSSB.2019.27.37228 (in Russian).
- 19 Ngan N.V., Malakhovskii S.S., Kostromina N.V., Ivashkina V.N. Influence of the siliconorganic modifactor for the curing of the curing of the epoxy oligomer // *Russian Chemical Reviews*. 2018. vol. XXXII. no 6. pp. 106–108. (in Russian).
- 20 Rydz J., Shishkova A., Eckstein A.A. Scanning Electron Microscopy and Atomic Force Microscopy: Topographic and Dynamical Surface Studies of Blends, Composites, and Hybrid Functional Materials for Sustainable Future. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019. vol. 2019. pp 1–16. doi: 10.1155/2019/6871785

#### Сведения об авторах


**Наталья Г. Зубова** к.т.н., доцент, кафедра физики и естественнонаучных дисциплин, Балаковский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», ул. Чапаева, 140, г. Балаково, Саратовская обл., 413800, Россия, zubova\_aptech@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2678-2568>


**Виктория М. Герасимова** к.т.н., доцент, кафедра физики и естественнонаучных дисциплин, Балаковский инженерно-технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», ул. Чапаева, 140, г. Балаково, Саратовская обл., 413800, Россия, gerasimova.victoria@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7619-6511>


**Наталья Л. Левкина** к.т.н., доцент, кафедра технологии и оборудования химических, нефтегазовых и пищевых производств, Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., пл. Свободы, 17, г. Энгельс, Саратовская обл., 413111, Россия, levkinan78@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6836-9264>

**Татьяна П. Устинова** д.т.н., профессор, кафедра технологии и оборудования химических, нефтегазовых и пищевых производств, Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., пл. Свободы, 17, г. Энгельс, Саратовская обл., 413111, Россия, ustinovatp@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1333-7000>

**Константин Б. Костин** к.т.н., старший научный сотрудник, научно-образовательный центр нанотехнологий и наноматериалов, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., ул. Политехническая, 77, г. Саратов, 410054, Россия, kbkostin@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6934-9399>

#### 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 G. Zubova** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, department of physics and natural sciences, Balakovo Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University «MEPhI», st. Chapaev, 140, Balakovo, Saratov region, 413800, Russia, zubova\_aptech@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2678-2568>


**Victoria M. Gerasimova** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, department of physics and natural sciences, Balakovo Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University «MEPhI», st. Chapaev, 140, Balakovo, Saratov region, 413800, Russia, gerasimova.victoria@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7619-6511>


**Natalya L. Levkina** Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, technology and equipment for chemical, oil and gas and food industries department, Engels Institute of Technology (branch) of Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University, Svobody Square, 17, Engels, Saratov region, 413111, Russia, levkinan78@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6836-9264>

**Tatyana P. Ustinova** Dr. Sci. (Engin.), professor, technology and equipment for chemical, oil and gas and food industries department, Engels Institute of Technology (branch) of Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University, Svobody Square, 17, Engels, Saratov region, 413111, Russia, ustinovatp@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1333-7000>

**Konstantin B. Kostin** Cand. Sci. (Engin.), senior researcher, scientific and educational center of nanotechnologies and nanomaterials, Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University, st. Polytechnic, 77, Saratov, 410054, Russia, kbkostin@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6934-9399>

#### 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> 12/09/2022	<b>После редакции</b> 30/09/2022	<b>Принята в печать</b> 12/10/2022
<b>Received</b> 12/09/2022	<b>Accepted in revised</b> 30/09/2022	<b>Accepted</b> 12/10/2022



## Проводящие полимерные композиты на основе тканей




Анастасия В. Лозицкая<sup>1</sup> [belyashiko@mail.ru](mailto:belyashiko@mail.ru)  0000-0002-6327-0484  
 Александр П. Кондратов<sup>1</sup> [apkrezerw@mail.ru](mailto:apkrezerw@mail.ru)  0000-0001-6118-0808  
 Станислав Ю. Ямилинец<sup>1</sup> [ymlnz@yandex.ru](mailto:ymlnz@yandex.ru)  0000-0002-9598-1117

<sup>1</sup> Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия

**Аннотация.** На примере тканей и трикотажа из смеси природных и синтетических полимерных волокон показана возможность получения полимерных композиций, предназначенных для изготовления электропроводящих элементов для авиации, робототехники и так называемой «носимой электроники» медицинского назначения. Исследованы механические и электрические свойства волокнистых композиций, наполненных дисперсиями углерода в различных аллотропных формах в сочетании и растворимыми и нерастворимыми высокомолекулярными соединениями в виде порошков или растворов. Дисперсии различных форм углерода с близким распределением частиц по размерам выбраны из числа коммерчески доступных марок полиграфических пигментов и ингредиентов резинотехнических и электротехнических изделий. Исследованы дисперсии углерода: графит, технический углерод и одностенные нанотрубки в виде стабилизированной водной суспензии. Рассмотрены известные и обоснованы оптимальные технологические приемы введения электропроводящих ингредиентов в состав композиционных материалов с учетом структуры и состава тканей. Показано преимущество напыления электропроводящих частиц графита на поверхность волокон и нитей в сочетании с нанесением растворов и дисперсий, позволяющее получить композиции для резисторов и датчиков деформации с достаточным уровнем прочности и эластичности. Диаграмма растяжения датчиков и зависимость электросопротивления композиции от удлинения с высокой степенью достоверности может быть разделена на два линейных участка. Первый участок в интервале относительной деформации растяжения от 2 до 30% в наибольшей степени соответствует практическому применению. Коэффициент чувствительности к деформации (GF) тензодатчика на основе ткани не превышает 10 в диапазоне деформации в диагональном направлении до 20%, а коэффициент чувствительности к деформации на трикотаже вне зависимости от направления высечки образцов из полотна на два порядка выше и составляет около 950 до относительного удлинения 30% и 90 в интервале относительного удлинения 30÷45%. Максимальная тензочувствительность (QF) лабораторных образцов на основе трикотажного полотна, при деформации менее 30% составляет около 1350 кПа<sup>-1</sup> и 4900 кПа<sup>-1</sup> при предельных удлинениях%. Гистерезисе электрических свойств при многократных деформациях не превышает 4%.

**Ключевые слова:** полимеры, ткани, электрические характеристики, трикотаж, коэффициент тензочувствительности, дисперсии графита.

## Electrical conductivity of modified fabrics with carbon coating

Anastasia V. Lozitskaya<sup>1</sup> [belyashiko@mail.ru](mailto:belyashiko@mail.ru)  0000-0002-6327-0484  
 Alexander P. Kondratov<sup>1</sup> [apkrezerw@mail.ru](mailto:apkrezerw@mail.ru)  0000-0001-6118-0808  
 Stanislav U. Yamilinets<sup>1</sup> [ymlnz@yandex.ru](mailto:ymlnz@yandex.ru)  0000-0002-9598-1117

<sup>1</sup> Moscow Polytechnic University, 38 B.Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia

**Abstract.** Using the example of fabrics and knitwear from a mixture of natural and synthetic polymer fibers, the possibility of obtaining polymer compositions intended for the manufacture of electrically conductive elements for aviation, robotics and so-called "wearable electronics" for medical purposes is shown. The mechanical and electrical properties of fibrous compositions filled with carbon dispersions in various allotropic forms in combination with both soluble and insoluble high-molecular compounds in the form of powders or solutions have been studied. Dispersions of various forms of carbon with a close particle size distribution were selected from among commercially available brands of printing pigments and ingredients of rubber and electrical products. Carbon dispersions were investigated: graphite, carbon black and single-walled nanotubes in the form of a stabilized aqueous suspension. The well-known and justified optimal technological methods of introducing electrically conductive ingredients into the composition of composite materials, taking into account the structure and composition of fabrics. The advantage of spraying electrically conductive graphite particles on the surface of fibers and filaments in combination with the application of solutions and dispersions is shown, which makes it possible to obtain compositions for resistors and strain sensors with a sufficient level of strength and elasticity. The stretching diagram of the sensors and the dependence of the electrical resistance of the composition on the elongation with a high degree of confidence can be divided into two linear sections. The first section in the range of relative tensile strain from 2 to 30% is most consistent with practical application. The coefficient of sensitivity to deformation (GF) of a fabric-based strain gauge does not exceed 10 in the range of deformation in the diagonal direction up to 20%, and the coefficient of sensitivity to deformation on knitwear, regardless of the direction of cutting samples from the canvas, is two orders of magnitude higher and is about 950 to a relative elongation of 30% and 90 in the range of a relative elongation of 30÷45%. The maximum strain sensitivity (QF) of laboratory samples based on knitted fabric, with a deformation of less than 30%, is about 1350 kPa<sup>-1</sup> and 4900 kPa<sup>-1</sup> at maximum elongation%. The hysteresis of electrical properties with multiple deformations does not exceed 4%.

**Keywords:** polymers, fabrics, electrical characteristics, knitwear, strain sensitivity coefficient, graphite dispersion.

Для цитирования

Лозицкая А.В., Кондратов А.П., Ямилинец С.Ю. Проводящие полимерные композиты на основе тканей // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 4. С. 206–215. doi:10.20914/2310-1202-2022-4-206-215

For citation

Lozitskaya A.V., Kondratov A.P., Yamilinets S.Y. Electrical conductivity of modified fabrics with carbon coating. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 206–215. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-4-206-215

## Введение

Прогресс робототехники обуславливает необходимость разработки и массового применения различных резисторов, антенн, тензодатчиков и датчиков деформаций из эластичных материалов. Кроме реализации больших деформаций в некоторых случаях к тензодатчикам предъявляются требования совместимости с тканями верхней одежды и нижнего белья, высокой тензочувствительности в широком диапазоне удлинений [1, 2].

Тензодатчики и датчики деформации содержат, по меньшей мере, два основных элемента: подложку и электропроводящий слой полимерной композиции [3–5].

В известных на рынке [6, 7] датчиках, датчиках деформации и средствах измерения параметров движущихся объектов наиболее часто в качестве подложек датчиков деформации применяются синтетические полимеры [8], такие как карбоцепные каучуки, полиорганосилоксаны, имеющие относительное удлинение при разрыве порядка тысячи процентов [9]. Для того чтобы совмещать тензодатчики деформации с одеждой и применяться различные волокнистые тканые и нетканые материалы [4].

**Цель работы** – получение электропроводящих датчиков деформации на основе эластичных волокнистых материалов.

## Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали следующие вещества, полимерные материалы и ткани.

Ткани:

- ткань саржевого переплетения марки Лицей Active280, арт. 37017, смесового состава волокон: 48% Вискоза, 48% полиэфир, 4% полиуретан, (производитель ООО «Чайковская текстильная компания»);

- трикотажное полотно кулирного переплетения, смесового состава волокон хлопок 65%, полиэфир 35%, применяемое для пошива для нижнего белья и внутренних слоев специальной одежды (производитель (ВФТП «Тривел»).

Модификаторы электропроводности:

- одностенные углеродные нанотрубки марки TUBALL™ COATOCSiA, в форме водной суспензии;

- электропроводящий пигмент для красок марки Printex XE 2-B; технический углерод марки F-200GS; порошок технического углерода марки AX-020;

- дисперсия графита с политетрафторэтиленом в пропанол-2 спрей в аэрозольной упаковке марки Graphit 33/200.

Растворы полимеров для модификации тканей в аэрозольной упаковке:

- раствор сополимера этилена с винилацетата в о-ксилоле в аэрозольной упаковке марки Tesa 60150;

- раствор сополимера стирола, бутадиена и изопрена в стироле марки Krylon 7777-Super QuickGripSprayAdhesive.

Диаметр и среднее распределения частиц графита и нанотрубок по размерам (рисунок 1) определяли с помощью лазерного анализатора частиц Микросайзер 201 фирмы «ВА ИНСТАЛТ».

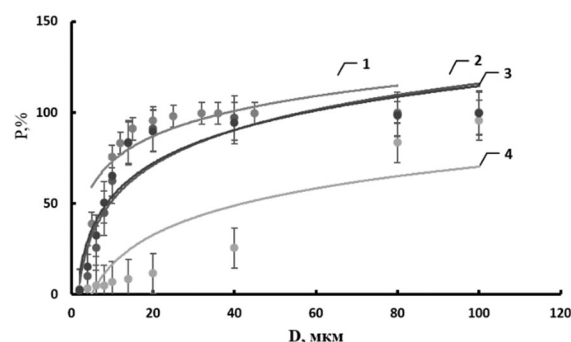


Рисунок 1. Интегральное распределение частиц углерода в дисперсии (P, %) по размерам: 1 – электропроводящий пигмент для красок; 2 – технический углерод; 3 – дисперсия графита с политетрафторэтиленом в пропанол-2; 4 – одностенные углеродные нанотрубки

Figure 1. Integral distribution of carbon particles in dispersion (P, %) by size: 1 – electrically conductive pigment for paints; 2 – carbon black; 3 – dispersion of graphite with polytetrafluoroethylene in propanol-2; 4 – single-walled carbon nanotubes

Образцы для испытаний размером 10 x 80 мм вырезали из полотен промышленного производства, поверхность которых покрыта слоями растворов сополимеров и дисперсией графита с политетрафторэтиленом. Слои растворов сополимеров наносились путем напыления из аэрозольной упаковки с контролем изменения массы после сушки.

Водная суспензия одностенных нанотрубок TUBALL™ COATOCSiA с добавкой полиоксипропиленгликолевого эфира OC-20 и неионогенного поверхностно-активного вещества ОП-7 после ультразвуковой обработки наносилась на поверхность тканей трафаретным способом печати. Суспензия продавливалась ракелем через печатную форму с сеткой линиатурой 120 lpi. Образцы изготавливались в лабораторных условиях при температуре  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  и сушились при относительной влажности 45–50% до постоянной массы.



Электропроводящие пигменты, графит и технический углерод в виде порошка наносились сверх слоев сополимеров методом напыления.

Серии по пять образцов ткани и ткани с покрытием каждого вида для механических испытаний вырезаны в четырех направлениях относительно расположения нитей основы тканей: вдоль, поперек и по диагоналям под 45 и 135 градусов.

Датчик деформации с покрытием дисперсией графита и / или нанотрубок, получали следующим образом: образцы разрезали на ленты длиной 100 мм, размещали зеркально и укладывали отрезки друг на друга, т. е. производили дублирование отрезков пленки со слоем клея и электропроводящего наполнителя, совмещением слоев электропроводящего наполнителя внутри датчика (рисунок 2).

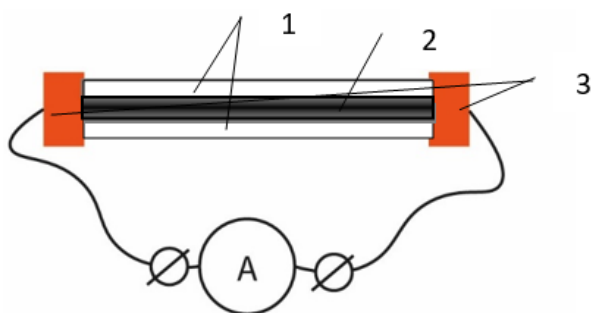


Рисунок 2. Схема сборки тензодатчика для испытаний электропроводности: 1 – слой волокнистого материала; 2 – слой дисперсии электропроводящего наполнителя; 3 – электроды (медная фольга)

Figure 2. Assembly diagram of a load cell for electrical conductivity tests: 1 – layers of fibrous material; 2 – layer of dispersion of an electrically conductive filler; 3 – electrodes (copperfoil)

По концам отрезков между слоями укладывали плоские электроды из медной фольги с проводом. Таким образом производили соединение слоя графита с источником постоянного тока и измерителем электрического сопротивления.

Коэффициент чувствительности тензодатчика к деформации  $GF$  вычисляется по формуле:

$$GF = \frac{\Delta R / R_0}{\Delta l / l_0} \quad (1)$$

где  $R_0$  – начальное сопротивление датчиков, Ом,  $\Delta R$  – относительное изменение сопротивления при деформации Ом,  $l_0$  – начальная длина датчика, м, а  $\Delta l$  – абсолютное удлинение, м.

Тензочувствительность датчика  $QF$  к механическому напряжению при деформации растяжения вычисляется по формуле:

$$QF = \frac{\Delta R / R_0}{\Delta \sigma}, \quad (2)$$

где,  $R_0$  – начальное сопротивление датчиков, Ом,  $\Delta R$  – изменение сопротивления датчиков при деформации растяжения,  $\Delta \sigma$  – увеличение механического напряжения [Па].

## Результаты

В датчиках деформации и резисторах чувствительных к составу среды [8–11] подложка является внешним слоем, определяющим их механические свойства и тензочувствительность. Использование тканей и трикотажа в сочетании с полимерной пропиткой позволяет подготовить подложки с различной податливостью в широком диапазоне обратимой деформации, снижающейся на порядок при достижении определенного предела растяжения что соответствует податливости кожи человека и теплокровных животных [8, 9].

Деформация ткани вдоль и поперек расположения нитей основы определяется механическими свойствами нитей и существенно зависит от типа плетения. Продольная и поперечная деформация нитей в ткани саржевого переплетения невелика и не обеспечивают достаточной для датчиков податливости.

Рассчитанное по геометрической схеме значение деформации «смятия» по диагонали квадратных ячеек переплетения нитей в ткани отличается от значений относительного удлинения вырезанных из ткани образцов с покрытием на лицевой стороне. Это обусловлено тем, что эластичная композиция первого слоя, содержащая полимер, проникает в структуру ткани и обеспечивает дополнительную связь между нитями по внешней поверхности. Полимерное связующее образует пленку и обеспечивает связь между концами обрезанных волокон, что не позволяет им рассыпаться при растяжении. В результате образуется композиционный материал с механическими свойствами, существенно отличающимися от механических свойств ткани. За счет связи между волокнами и разрезанными нитями значения относительного удлинения вырезанных из ткани лент достигают 100%, что в 2,2 раза больше, чем у аналогичного образца ткани без покрытия. Для деформации и разрушения ткани с полимерным покрытием необходимо приложить большее напряжение. Значение прочностного образца с двумя слоями полимерной композиции, нанесенной напылением аэрозоля, превышает предел прочности ткани на порядок.

Нанесение дисперсии графита, технического углерода и нанотрубок делает ткани электропроводящими (Табл. 1) с линейной вольтамперной характеристикой (рисунок 3).

При близкой дисперсности все исследуемые порошки графита формируют на поверхности тканей покрытых растворами сополимеров слой одинаковой электропроводности (10÷90 кОм). Электропроводящий пигмент для красок марки Printex XE 2-B, по-видимому, содержит дополнительные ингредиенты, наличие которых увеличивает сопротивления слоя на порядок.

Известно использование технического углерода для получения электропроводящих полимерных композитов [11, 15]. Получены смеси полиэтилена с техническим углеродом, стабильность которых оценивается по влиянию температуры и относительной влажности на относительное сопротивление. Из результатов видно, что с повышением температуры и относительной влажности значение сопротивления имеет тенденцию к уменьшению, и его зависимость от деформации увеличивается.

Таблица 1.

Электрическое сопротивление трикотажных лент шириной 10 мм

Table 1.

Electrical resistance of knitted tapes with a width of 10 mm

Углеродные наполнители   Carbon fillers	F-200GS	AX-020	Нанотрубки	Graphit 33/200	PrintexXE 2-B
Сопротивление, кОм   Impedance, kOhm	10 ± 2	12 ± 3	12 ± 2,5	90 ± 5,8	450 ± 65

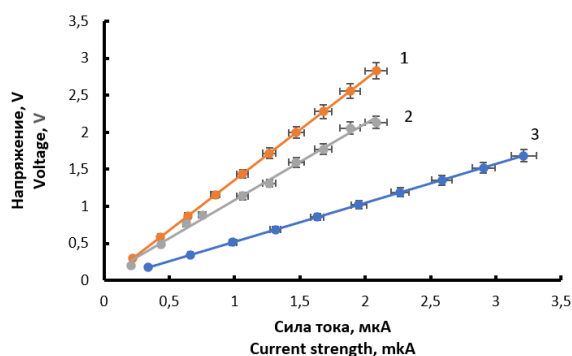


Рисунок 3. Вольтамперная характеристика эластичной ткани саржевого переплетения с электропроводящим покрытием: 1 – технический углерод, 2 – нанотрубки, 3 – графит

Figure 3. Voltage characteristic of elastic twill weave fabric with an electrically conductive coating: 1 – carbon black, 2 – nanotubes, 3 – graphite

Добавка политетрафторэтилена, введенная в состав спрея марки Graphit 33/200, для предотвращения агрегации частиц графита имеет незначительный негативный эффект снижения электропроводности. Использование данного модификатора тканей в аэрозольной упаковке представляется наиболее перспективным.

Для обоснования возможности использования тканей пропитанных растворами полимеров и покрытых дисперсиями графита в качестве основы резисторов и прогнозирования их свойств необходимо количественное описание напряжения в ткани, возникающего при растяжении и зависимости электрической проводимости полимерной композиции от деформации.

Для использования тканей с покрытием в качестве тензодатчиков исследовали их деформационно-прочностные свойства.

Диаграмма растяжения датчиков с высокой степенью достоверности ( $R^2 = 0,92-0,99$ ) может быть разделена на два линейных участка (рисунок 4). Первый участок для тканисаржевого переплетения марки Лицей Active в интервале относительной деформации растяжения 2÷30% в наибольшей степени соответствует практическому применению волокнистого материала для изготовления тензодатчиков и датчиков деформации на спецодежде из тканей и описывается уравнением  $\sigma = 0,09 \varepsilon + 0,28$ . Второй участок в интервале 30 ÷ 100% уравнением  $\sigma = 0,3 \varepsilon - 6,74$ . Для трикотажного полотна кулирного переплетения в интервале относительной деформации растяжения 2 ÷ 30%, который также соответствует практическому применению тензодатчиков зависимость напряжения от деформации описывается уравнением  $\sigma = 0,11 \varepsilon + 0,45$ , а второй участок в интервале 30 ÷ 100% уравнением  $\sigma = 0,19 \varepsilon - 4,3$ .

По технической диаграмме растяжения датчиков видно, что механические свойства на стадии удлинения могут быть охарактеризованы величиной условного модуля упругости: для эластичной ткани саржевого переплетения модуль упругости равен 11 МПа при деформации менее 30% и 30 МПа при больших удлинениях для трикотажного полотна модуль упругости равен 9 МПа при деформации менее 30% и 19 МПа при предельных удлинениях.

Тензочувствительность датчиков к механическому напряжению на различных волокнистых основах при растяжении представлены в таблице 2.

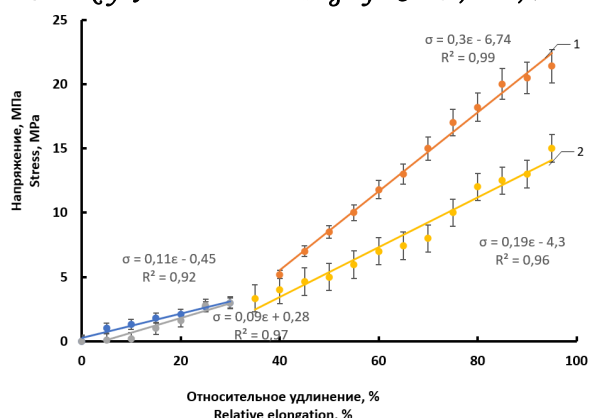


Рисунок 4. Зависимость напряжения от деформации при растяжении лент вырезанных по диагонали: 1 – эластичная ткань саржевого переплетения, 2 – трикотажное полотно

Figure 4. The dependence of stress on strain during diagonal stretching: 1 – elastic twill weave fabric, 2 – knitted fabric

Таблица 2.

Тензочувствительность волокнистых датчиков

Table 2.

Strain sensitivity of fiber sensors

Волокнистая основа датчика	Тензочувствительность $\Delta F$ , кПа <sup>-1</sup>	
	Растяжение в диапазоне относительной деформации, %	
	0÷15	15÷30
Ткань саржевого переплетения	1234	3765
Трикотажное полотно	1352	4882

Вследствие высокой податливости тканевых подложек коэффициент тензочувствительности во всем диапазоне деформаций превосходит достигнутое значение  $GF$  на электропроводящих композитах матричной структуры на три десятичных порядка [16].

### Обсуждение

Наличие двух линейных интервалов на зависимости механических и электрических свойств полимерных композитов на основе тканей обусловлено их макроструктурой и наличием синтетического полимера в составе нити. В диапазоне деформаций 0 ÷ 30% расстояние между частицами графита на нитях в направлении растяжения ткани увеличивается вследствие чего частично нарушается их электрический контакт и электросопротивление возрастает. Однако при этом, вследствие боковой контракции ленты и сближения нитей, образуются контакты в поперечном направлении и снижение электропроводности датчика не столь значительно.

При вытяжке более 30% боковая контракция ленты завершается, расстояние между центрами частиц графита на нитях увеличивается, электрические контакты нарушаются с большей интенсивностью и сопротивление возрастает в 40 раз быстрее (рис. 5).

Для определения параметров чувствительности тензодатчика к деформации ( $GF$ ) достаточно информации об электрическом сопротивлении деформированных образцов многослойных тензорезисторов, выполненных на различных подложках (таблица 3) и значения электросопротивления слоя проводящей композиции до растяжения ( $R_0$ ).

Коэффициент чувствительности к деформации ( $GF$ ) тензодатчика на основе ткани не превышает 10 в диапазоне деформации в диагональном направлении до 20%, а коэффициент чувствительности к деформации на трикотаже вне зависимости от направления высечки образцов из полотна на два порядка выше и составляет  $945 \pm 5,2$  до относительного удлинения до 30% и  $92 \pm 2,2$  в интервале относительного удлинения 30÷45%.

По данным технологического университета Тоёхас (Япония) наибольшую чувствительность к деформации полимерных композитных тензодатчиков удастся получить при использовании наночастиц серебра с размерами менее 100 нм [10]. В пленках из полидиметилсилоксана с нанодисперсией серебра относительное изменение сопротивления возрастает в 20 раз почти линейно ( $0,05 \div 0,98$ ) при растяжении композитной пленки до 50%. Лабораторный образец такого датчика способен растягиваться до 140%, но сопротивление может быть корректно измерено при относительном удлинении лишь до 60%.

Коэффициент чувствительности к деформации ( $GF$ ) тензодатчика с наночастицами серебра в эластичной матрице, полученного в работе [10] составляет на начальном этапе растяжения 270, а датчика при большей относительной деформации 110. Тензодатчики и датчики деформации с высоким коэффициентом  $GF$  полученным за счет монолитной интеграции растяжимой подложки с изменяющейся жесткостью и чувствительной пленки, содержащей перколяционную сеть из нанопроволок серебра признаны соответствующими эксплуатационным требованиям гибкой электроники [17–18]. При этом параметров тензочувствительности, т. е. изменению электрического сигнала при изменении механического напряжения в указанных статьях не приводится.

При циклических деформациях растяжения и сокращения датчиков проявляется эффект Патрикеева-Малинза, который заключается в обратимости деформации и существенном различии первого и последующих циклов. Такое явление наблюдается не только в резистивных тензодатчиках, но и в механике композитов органической и неорганической природы [19]. В настоящее время физическая природа эффекта Патрикеева-Малинза является объектом теоретических и экспериментальных исследований в коллективах ученых разных стран [20].

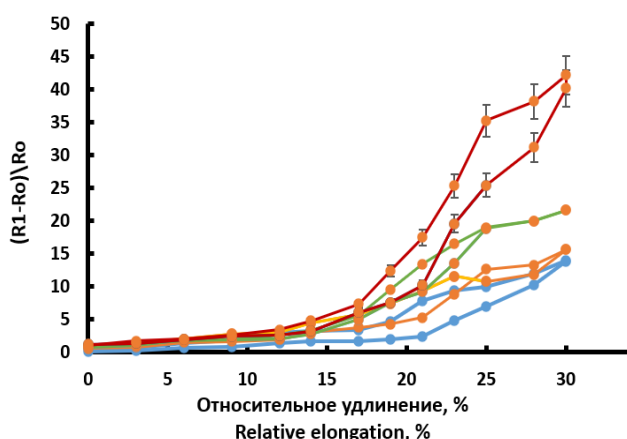


Рисунок 5. Циклическая деформация датчика на основе трикотажа

Figure 5. Cyclic deformation of the sensor based on knitwear

На рисунке 5 показано относительное изменение электросопротивления тензодатчика на основе трикотажа при многократном растяжении. Видно, что первый цикл деформации имеет большее изменение электросопротивления, чем последующие циклы. Это различие имеет место как при растяжении, так и при сокращении. После второго цикла эффект Патрикеева-Малинза не проявляется. При многократных деформациях гистерезис не превышает 4%.

Гистерезис играет важную роль для тензодатчиков находящихся под динамической нагрузкой. Это эксплуатационный критерий для датчика, который предназначен для использования в качестве носимой электроники. Гистерезис сигнала датчика свыше 8–10% может приводить к потере чувствительности датчика к нагрузке вследствие увеличения доли необратимой деформации [21, 22].

### Заключение

Показана возможность получения электропроводящих волокнистых материалов путем послойного нанесения на ткани аэрозолей растворов высокомолекулярных соединений и дисперсий графита в органических жидкостях и /или водной дисперсии углеродных нанотрубок.

Предложено устройство, изготовлены лабораторные образцы и получены вольтамперные характеристики резисторов и тензодатчиков на основе тканей и трикотажа с углеродным покрытием. Установлены линейные зависимости сигнала датчика от деформации, с различными значениями чувствительности к деформации при малых и предельных удлинениях. Коэффициент чувствительности к деформации ( $GF$ ) тензодатчика на основе ткани не превышает 10 в диапазоне деформации в диагональном направлении до 20%, а коэффициент чувствительности к деформации тензодатчика на основе трикотажа вне зависимости от направления высечки образцов из полотна на два порядка выше и составляет 950 до относительного удлинения до 30% и 90 в интервале относительного удлинения 30÷45%.

Определены значения истинной тензочувствительности датчиков, полученных напылением суспензии графита на трикотаж, которые вследствие высокой податливости трикотажа достигают рекордных 4900 и 1350  $\text{kPa}^{-1}$  при больших и малых удлинениях соответственно.

### Литература

- 1 Bose A., Zhang X., Maddipatla D., ScreenPrinted Strain Gauge for Micro-Strain Detection Applications // IEEE Sensors Journal том: 20, выпуск: 21, 11. 2020. 12652–12660. DOI: 10.1109/JSEN.2020.3002388
- 2 Leseman, ZC. Design of the Microscale Optomechanical Load Cell for Micro-Nanostructured Materials Testing Arabian Journal for Science and Engineering volume 47, p. 1053–1067. DOI: 10.1007/s13369–021–06019–2
- 3 Liu Y., Pharr M., Salvatore G.A. Lab-on-Skin: A Review of Flexible and Stretchable Electronics for Wearable Health Monitoring // ACS Nano. 2017. Vol. 11, № 10. P. 9614–9635. DOI:10.1021/acsnano.7b04898
- 4 Lozitskaya, A.V., Kondratov, A.P., Baranov, V.A., Cherkasov, E.P., Printed Load Cells on Clothing Made of Fire-Protective Fabric // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019 Workshop on Materials and Engineering in Aeronautics. 2020. С. 012017. DOI:10.1088/1757-899X/714/1/012017
- 5 Zhang Wenliang., Riccardo Frisenda., Qinghua Zhao., Felix Carrascoso. Paper-supported WS2 Strain Gauges // Preprints 2021, P. 20210–70021
- 6 Ogunleye, R.O.; Rusnakova, S. A review of prestressed fibre-reinforced polymer matrix composites. Polymers. 2022, 14(1), 60. DOI:10.20944/preprints202107.0021.v1




- 7 Sinha Manish; Luke Achenie, E.K. Systematic design of blanket wash solvents with recovery. *Advances in Environmental Research*. 2001, 5(3), 239–249. DOI:10.1016/S1093-0191(00)00058-7
- 8 Xu C., Yang Y., Gao W. Skin-Interfaced Sensors in Digital Medicine: from Materials to Applications // *Matter*. 2020. Vol. 2, № 6. P. 1414–1445. DOI:10.1016/j.matt.2020.03.020
- 9 Zhang C. et al. Rational Design of a Flexible CNTs@PDMS Film Patterned by Bio-Inspired Templates as a Strain Sensor and Supercapacitor // *Small*. John Wiley & Sons, Ltd, 2019. Vol. 15, № 18. P. 1805493. DOI:10.1002/sml.201805493
- 10 Jang K. – I. et al. Rugged and breathable forms of stretchable electronics with adherent composite substrates for transcutaneous monitoring // *Nat. Commun.* 2014. Vol. 5, № 1. P. 4779. DOI:10.1038/ncomms5779
- 11 Kondratov, A.P., Nagornova, I.V., Varepo, L.G. Tenso-resistive printed sensors for flexible elements of systems and mechanisms // *Journal of Physics: Conference Series*, DOI:10.1088/1742–6596/1210/1/012067
- 12 Марков В. А., Кандырин Л. Б., Марков А.В., // *Конструкции из композиционных материалов (КМ)*, 2013, 4, стр. 40 – 44. DOI: 10.32362/2410–6593–2019–14–2–60–69
- 13 S. Han Mina, A.M. Asrulnizamb, M. Atsunoric and M. Mariattid Properties of Stretchable and Flexible Strain Sensor Based on Silver/PDMS Nanocomposites // *Materials Today: Proceedings* Vol. 17, Part 3, 2019, P. 616–622. DOI:10.1016/j.matpr.2019.06.342
- 14 J. Lee, S. Kim, J. Lee, D. Yang, B.C. Park, S. Ryu, I. Park, Highly sensitive and selective multidimensional resistive strain sensors based on a stiffness-variant stretchable substrate // *Nanoscale*, 6, 2014, P. 11932–11939. DOI:10.1039/C7NR08118A
- 15 Krutyakov Y., Kudrinskij A., Method of application of silver nanoparticles to textile materials // *Pat. RU 2680078, D06B 1/00*, 14.02.2019. № 5. <https://patenton.ru/patent/RU2680078C2/en>. (дата обращения: 15.07.2021)
- 16 Hu Z., Xin Y. & Fu Q. Ultrahigh sensitivity and wide strain range of porous pressure sensor based on binary conductive fillers by in-situ polymerization, *J. Polymer Research*, 2021, 28, 134. DOI:10.1007/s10965-021-02484-3
- 17 Müller M.; Kolář V.; Piš, D. Low-cycle fatigue behavior of 3D-printed PLA reinforced with natural filler. *Polymers*. 2022, 14(7), 1301. DOI:10.3390/polym14071301
- 18 Hamlaoui O.; Klinkova O.; Tawfiq I.; Elleuch R. Effect of the glass fiber content of a polybutylene. *Polymers*. 2022, 14(1), 17. DOI: 10.3390/polym14010017
- 19 Sukcharoen. K.; Noraphaiphapaksa N.; Kanchanomai C.; Hasap A. Experimental and numerical evaluations of localized stress relaxation for vulcanized rubber. *Polymers*. 2022, 14(5), 873. DOI: 10.3390/polym14050873
- 20 Jorda J.; Kain G.; Barbu M.C.; Köll B.; Petutschnigg A.; Kra I.P. Mechanical properties of cellulose and flax fiber unidirectional reinforced plywood. *Polymers*. 2022, 14(4), 843. DOI: 10.3390/polym14040843
- 21 Gottstein G. *Physical Foundations of Materials Science*. Publisher: Springer Berlin, Heidelberg 2004; 502 p. DOI:10.1007/978-3-662-09291-0
- 22 Zhao C.; Li J.; Jiang Z.; Chen C. Measurement of the infinite dilution diffusion coefficients of small molecule solvents in silicone rubber by inverse gas chromatography. *European Polymer Journal*. 2006, 42(3), 615–624. DOI:10.1016/J.EURPOLYMJ.2005.08.019.


## References

- 1 Bose A., Zhang X., Maddipatla D., ScreenPrinted Strain Gauge for Micro-Strain Detection Applications // *IEEE Sensors Journal* том: 20, выпуск: 21, 11. 2020. 12652–12660. DOI: 10.1109/JSEN.2020.3002388
- 2 Leseman, ZC. Design of the Microscale Optomechanical Load Cell for Micro-Nanostructured Materials Testing *Arabian Journal for Science and Engineering* volume 47, p. 1053–1067. DOI: 10.1007/s13369-021-06019-2
- 3 Liu Y., Pharr M., Salvatore G.A. Lab-on-Skin: A Review of Flexible and Stretchable Electronics for Wearable Health Monitoring // *ACS Nano*. 2017. Vol. 11, № 10. P. 9614–9635. DOI:10.1021/acsnano.7b04898
- 4 Lozitskaya, A.V., Kondratov, A.P., Baranov, V.A., Cherkasov, E.P., Printed Load Cells on Clothing Made of Fire-Protective Fabric // *Всборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019 Workshop on Materials and Engineering in Aeronautics. 2020. C. 012017. DOI:10.1088/1757-899X/714/1/012017
- 5 Zhang Wenliang., Riccardo Frisenda., Qinghua Zhao., Felix Carrascoso. Paper-supported WS2 Strain Gauges // *Preprints* 2021, P. 20210–70021
- 6 Ogunleye, R.O.; Rusnakova, S. A review of prestressed fibre-reinforced polymer matrix composites. *Polymers*. 2022, 14(1), 60. DOI:10.20944/preprints202107.0021.v1
- 7 Sinha Manish; Luke Achenie, E.K. Systematic design of blanket wash solvents with recovery. *Advances in Environmental Research*. 2001, 5(3), 239–249. DOI:10.1016/S1093-0191(00)00058-7
- 8 Xu C., Yang Y., Gao W. Skin-Interfaced Sensors in Digital Medicine: from Materials to Applications // *Matter*. 2020. Vol. 2, № 6. P. 1414–1445. DOI:10.1016/j.matt.2020.03.020
- 9 Zhang C. et al. Rational Design of a Flexible CNTs@PDMS Film Patterned by Bio-Inspired Templates as a Strain Sensor and Supercapacitor // *Small*. John Wiley & Sons, Ltd, 2019. Vol. 15, № 18. P. 1805493. DOI:10.1002/sml.201805493
- 10 Jang K. – I. et al. Rugged and breathable forms of stretchable electronics with adherent composite substrates for transcutaneous monitoring // *Nat. Commun.* 2014. Vol. 5, № 1. P. 4779. DOI:10.1038/ncomms5779
- 11 Kondratov, A.P., Nagornova, I.V., Varepo, L.G. Tenso-resistive printed sensors for flexible elements of systems and mechanisms // *Journal of Physics: Conference Series*, DOI:10.1088/1742–6596/1210/1/012067
- 12 Марков В. А., Кандырин Л. Б., Марков А.В., // *Конструкции из композиционных материалов (КМ)*, 2013, 4, стр. 40 – 44. DOI: 10.32362/2410–6593–2019–14–2–60–69

- 13 S. Han Mina, A.M. Asrulnizamb, M. Atsunoric and M. Mariattid Properties of Stretchable and Flexible Strain Sensor Based on Silver/PDMS Nanocomposites // Materials Today: Proceedings Vol. 17, Part 3, 2019, P. 616–622. DOI:10.1016/j.matpr.2019.06.342
- 14 J. Lee, S. Kim, J. Lee, D. Yang, B.C. Park, S. Ryu, I. Park, Highly sensitive and selective multidimensional resistive strain sensors based on a stiffness-variant stretchable substrate // Nanoscale, 6, 2014, P. 11932–11939. DOI:10.1039/C7NR08118A
- 15 Krutyakov Y., Kudrinskij A., Method of application of silver nanoparticles to textile materials // Pat. RU 2680078, D06B 1/00, 14.02.2019. № 5. <https://patenton.ru/patent/RU2680078C2/en>. (дата обращения: 15.07.2021)
- 16 Hu Z., Xin Y. & Fu Q. Ultrahigh sensitivity and wide strain range of porous pressure sensor based on binary conductive fillers by in-situ polymerization, J. Polymer Research, 2021, 28, 134. DOI:10.1007/s10965-021-02484-3
- 17 Müller M.; Kolář V.; Piš, D. Low-cycle fatigue behavior of 3D-printed PLA reinforced with natural filler. Polymers. 2022, 14(7), 1301. DOI:10.3390/polym14071301
- 18 Hamlaoui O.; Klinkova O.; Tawfiq I.; Elleuch R. Effect of the glass fiber content of a polybutylene. Polymers. 2022, 14(1), 17. DOI: 10.3390/polym14010017
- 19 Sukcharoen. K.; Noraphaiphapaksa N.; Kanchanomai C.; Hasap A. Experimental and numerical evaluations of localized stress relaxation for vulcanized rubber. Polymers. 2022, 14(5), 873. DOI: 10.3390/polym14050873
- 20 Jorda J.; Kain G.; Barbu M.C.; Köll B.; Petutschnigg A.; Kra I.P. Mechanical properties of cellulose and flax fiber unidirectional reinforced plywood. Polymers. 2022, 14(4), 843. DOI: 10.3390/polym14040843
- 21 Gottstein G. Physical Foundations of Materials Science. Publisher: Springer Berlin, Heidelberg 2004; 502 p. DOI:10.1007/978-3-662-09291-0
- 22 Zhao C.; Li J.; Jiang Z.; Chen C. Measurement of the infinite dilution diffusion coefficients of small molecule solvents in silicone rubber by inverse gas chromatography. European Polymer Journal. 2006, 42(3), 615–624. DOI:10.1016/J.EURPOLYJM.2005.08.019.

## Сведения об авторах

**Анастасия В. Лозицкая** преподаватель, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, [belyashiko@mail.ru](mailto:belyashiko@mail.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-6327-0484>

**Александр П. Кондратов** д.т.н., профессор, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, [apkrezerov@mail.ru](mailto:apkrezerov@mail.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

**Станислав Ю. Ямилинец** Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, [ymlnz@yandex.ru](mailto:ymlnz@yandex.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-9598-1117>


## Вклад авторов


**Анастасия В. Лозицкая** Экспериментальная часть исследования, написание рукописи и выполнение расчетов  
**Александр П. Кондратов** консультирование в ходе исследования и в написании рукописи, обзор литературных источников по исследуемой проблеме.  
**Станислав Ю. Ямилинец** сбор материалов для экспериментальной части исследования,


## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Information about authors

**Anastasia V. Lozitskaya** Lecturer, Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia, [belyashiko@mail.ru](mailto:belyashiko@mail.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-6327-0484>

**Alexander P. Kondratov** Dr. Sci. (Chem.), professor, Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia, [apkrezerov@mail.ru](mailto:apkrezerov@mail.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

**Stanislav U. Yamilinets** Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia, [ymlnz@yandex.ru](mailto:ymlnz@yandex.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-9598-1117>

## Contribution

**Anastasia V. Lozitskaya** Experimental part of the study, writing a manuscript and performing calculations  
**Alexander P. Kondratov** consulting during the research and in the writing of the manuscript, review of literary sources on the problem under study  
**Stanislav U. Yamilinets** collection of materials for the experimental part of the study

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/10/2022	После редакции 28/10/2022	Принята в печать 01/11/2022
Received 18/10/2022	Accepted in revised 28/10/2022	Accepted 01/11/2022



## 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 СТАТЫ

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, 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 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 (с 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**

##### **1.2 Пищевая биотехнология**

- **05.18.01** Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства
- **05.18.04** Технология мясных молочных и рыбных продуктов и холодильных производств
- **05.18.05** Технология сахара и сахаристых продуктов чая табака и субтропических культур
- **05.18.06** Технология жиров эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов
- **05.18.07** Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ
- **05.18.12** Процессы и аппараты пищевых производств
- **05.18.15** Товароведение пищевых продуктов и технология общественного питания

##### **2. Химическая технология**

- **05.17.01** Технология неорганических веществ
- **05.17.04** Технология органических веществ
- **05.17.06** Технология и переработка полимеров и композитов
- **05.17.07** Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ
- **05.17.08** Процессы и аппараты химических технологий

##### **3. Экономика и управление**

- **08.00.05** Экономика и управление народным хозяйством

## 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; Оpubл. 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:

Липидус 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):

Iyukhina 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/vguir/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., 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. № 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., 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).

**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).