

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**

**2023**

*№*

**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**

---

**2023, Том. 85, № 4**

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

---

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ  
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

**Воронеж  
2023**

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**

---

**2023, Vol. 85, No. 4**

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

---

FOUNDED IN 1938  
COMES 4 TIMES PER YEAR

**Voronezh  
2023**

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

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

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

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

**1.1 Процессы и аппараты пищевых производств**

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

**1.2 Пищевая биотехнология**

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

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

**2. Химическая технология**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

---

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА**

---

**Председатель (Главный редактор):**

**КОРНЕЕВА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА** доктор биологических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, врио ректора, 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'Акуила (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)

**ПАНИЛОВ 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

**ВАЙХАВКУМАР 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» (Сибиу, Румыния) ORCID: 0000-0002-0515-475X

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

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

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

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

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

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

**ДОРЕМКИШИН 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 САВВОВИЧ** 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 НИИЭОАП КЦР 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 04.12.2023. Подписано в печать 18.12.2023

Выход в свет: 28.12.2023

Формат 70×100 1/8.

Усл. печ. л. 22,1 Тираж 1500 экз. Заказ.

Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО

«Воронеж. гос. ун-т инж.  
технол.», 2023

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

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

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

Journal materials are placed in

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

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

**1.1 Food production processes and apparatus**

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

**1.2 Food biotechnology**

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

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

**2. Chemical technology**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**EDITORIAL COUNCIL**

---

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

**KORNEEVA, OLGA SERGEEVNA** doctor of biological sciences, professor, honored worker of higher school of Russia, acting rector, 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 Succuro Inc. (La Mesa, USA) ORCID: 0000-0002-9377-3875

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Chemical Technology**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **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, IURI 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 04.12.2023. Signed to print 18.12.2023

The publication: 28.12.2023

Format 70×100 1/8.

Conditional Print l. 22.1 Circulation 1500 copies.

Price - Free.

© FSBEI HE

“Voronezh State University  
of Engineering  
Technologies”, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Долматова О.И., Сидельников Е.М. Производство творога с улучшенными показателями качества	15
Амелякина М.В., Иванов В.В., Поливановская Д.В., Шариков А.Ю., Абрамова И.М. Влияние дозировки клетчатки топинамбура, продукта комплексной технологии спирта, на изменение свойств рисовых экструдатов	20
Черемушкина И.В., Осенева О.В. «Зеленая» экономика: экологические инновации и экологические продукты	28
Терехина А.В., Зуева Н.В., Ярошева В.Н. Разработка способа получения майонезного соуса с использованием гидролата мяты перечной	35
Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Артемов Е.С., Сергеева О.А., Востроилов А.В., Чернышева Т.В. Особенности химического состава и технологические свойства молока коров с учетом линейной принадлежности	41
Васюкова А.Т., Беленков А.И., Мазиров М.А., Савоскина О.А., Заверткин И.А., Мошкин А.В. Исследование потребительских свойств сортов картофеля	49
Гребенщиков А.В., Чусова А.Е., Глаголева Л.Э., Корчагин В.И., Иванова В.А., Пронькина А.А. Изучение состава супернатанта из томатов	57
Китаевская С.В., Решетник О.А., Камартдинова Д.Р., Волостнова А.Н., Романова Н.К. Оценка биотехнологического потенциала новых штаммов молочнокислых бактерий с криорезистентными свойствами	63
Ульянова Ю.В., Ермоленко Ю.В., Ванчугова Л.В., Митюков А.В., Гельперина С.Э. Изучение высвобождения рилпивирин из in situ формирующихся полимерных имплантатов в буферном растворе и в гелевом фантоме, имитирующем мышечную ткань	70
Загидуллина И.А., Гужова А.А., Перушкина Е.В. Активный упаковочный материал на основе биоразлагаемого полимера	76
Лушникова А.Ю., Дурунча Н.А., Медведева С.Н., Пережогина Т.А. Установление метрологических характеристик метода при определении оксидов азота (no, nox) в газовой фазе аэрозоля изделий из табака нагреваемого	81
Четвериков С.П., Четверикова Д.В., Худайгулов Г.Г., Бакаева М.Д., Кенджиева А.А. Разработка биопрепарата "АГРОБИОЛОГ" для снижения пестицидного стресса сельскохозяйственных растений и стимулирования их роста	86
Пронин А.С., Колмыкова Т.С., Лукаткин А.С. Синтез индол 3 уксусной кислоты при совместном культивировании дрожжей и бактерий	91
Рябченкова А.А., Чирак Е.Р., Чирак Е.Л., Колмаков Н.Н., Копать В.В., Духовлинов И.В. Разработка и получение ДНК-иммуногена на основе генов SARS-CoV-2	96
Дерканосова А.А., Дранников А.В., Ншимиримана С., Хрячков Н.А., Хряčkova Л.А., Егорова Г.Н. Использование водорослей для создания фитосанитарных продуктов	102
Гладских Н.А., Устимов М.Г., Левицкий Е.Н. Математическое и алгоритмическое моделирование комплексного медикосоциального интегрального показателя для работников АПК	109
Ликнина А.В., Рошин В.С. Разработка функциональных алгоритмов и концептуальной модели информационно-аналитической системы поддержки управления региональным агропромышленным комплексом	115
Линкина А.В., Осипов Е.И. Применение спутниковых навигационных технологий и БАС в интересах управления агропромышленным комплексом	122
Ликнина А.В. Применение машинного обучения при организации адаптивно-ландшафтных систем земледелия	128
Линкина А.В., Елсуков В.Д., Тришин А.А. Использование моделей машинного обучения при решении задач в отрасли органического сельского хозяйства	133

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Плотникова С.Е., Горбунова Е.М., Нифталиев С.И., Бочарова Л.В., Лучко А.М. Исследование фазовых равновесий в водно-солевых системах, содержащих компоненты молочной сыворотки	139
Мишагин К.А., Ямалеева Е.С., Готлиб Е.М., Хацринов А.И. Получение волластонита из цеолитсодержащей породы методом твердофазного синтеза	145
Акименко А.А., Белоусов О.В., Борисов Р.В. Сравнение химической стойкости титана, тантала и платины в солянокислых окислительных средах в автоклаве	152

## CONTENTS


### FOOD BIOTECHNOLOGY

<b>Dolmatova O.I., Sidelnikov E.M.</b> Production of cottage cheese with improved quality indicators	<b>15</b>
<b>Amelyakina M.V., Ivanov V.V., Polivanovskaya D.V., Sharikov A.Yu., Abramova I.M.</b> The influence of the dosage of Jerusalem artichoke fiber, a by-product of complex ethanol technology, on changes in the properties of rice extrudates	<b>20</b>
<b>Cheremushkina I.V., Oseneva O.V.</b> "Green" economy: ecological innovations and ecological products	<b>28</b>
<b>Terekhina A.V., Zueva N.V., Yarosheva V.N.</b> Development of a method for producing mayonnaise sauce using peppermint hydrolate	<b>35</b>
<b>Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Artemov E.S., Sergeeva O.A., Vostroilov A.V., Chernysheva T.V.</b> Features of the chemical composition and technological properties of cow's milk, taking into account the linear affiliation	<b>41</b>
<b>Vasyukova A.T., Belenkov A.I., Mazirov M.A., Savoskina O.A., Zavertkin I.A., Moshkin A.V.</b> Investigating the consumer properties of potato cultivars	<b>49</b>
<b>Grebenshchikov A.V., Chusova A.E., Glagoleva L.E., Korchagin V.I., Ivanova V.A., Pronkina A.A.</b> Studying the composition of a tomato supernatant	<b>57</b>
<b>Kitaevskaya S.V., Reshetnik O.A., Kamartdinova D.R., Volostnova A.N., Romanova N.K.</b> Evaluation of biotechnological potential of new strains of lactic acid bacteria with cryoresistant properties	<b>63</b>
<b>Ulianova Yu.V., Yermolenko Yu.V., Vanchugova L.V., Mityukov A.V., Gelperina S.E.</b> In vitro release studies of rilpivirine from in situ forming polymeric implants in buffer solution and in a gel phantom of muscle tissue	<b>70</b>
<b>Zagidullina I.A., Guzhova A.A., Perushkina E.V.</b> Active packaging material based on biodegradable polymer	<b>76</b>
<b>Lushnikova A.J., Duruncha N.A., Medvedeva S.N., Perezhogina T.A.</b> Defining metrological characteristics of the method for measuring nitrogen oxides (no, nox) contents in gaseous phase of heated tobacco products	<b>81</b>
<b>Chetverikov S.P., Chetverikova D.V., Hkudaigulov G.G., Bakaeva M.D., Kendjieva A.A.</b> Designing of the biological product "AGROBIOLOG" for mitigating pesticide stress in agricultural plants and stimulating their growth	<b>86</b>
<b>Pronin A.S., Kolmykova T.S., Lukatkin A.S.</b> Synthesis of indole 3 acetic acid during co-cultivation of yeast and bacteria	<b>91</b>
<b>Riabchenkova A.A., Chirak E.R., Chirak E.L., Kolmakov N.N., Kopat V.V., Dukhovlinov I.V.</b> Development and production of DNA-immunogen based on SARS-CoV-2 genes	<b>96</b>
<b>Derkanosova A.A., Drannikov A.V., Nshimirimana S., Hryachkov N.A., Hryachkova L.A., Egorova G.N.</b> The use of algae to create phytosanitary products	<b>102</b>
<b>Gladskikh N.A., Ustimov M.G., Levitsky E.N.</b> Mathematical and algorithmic modeling of a complex medical and social integral indicator for agricultural workers	<b>109</b>
<b>Liknina A.V., Roshin V.S.</b> Development of functional algorithms and a conceptual model of an information and analytical system to support the management of the regional agro-industrial complex	<b>115</b>
<b>Linkina A.V., Osipov E.I.</b> Application of satellite navigation technologies and BAS in the interests of agro-industrial complex management	<b>122</b>
<b>Linkina A.V.</b> Application of machine learning in the organization of adaptive landscape farming systems	<b>128</b>
<b>Linkina A.V., Elsukov V.D., Trishin A.A.</b> The use of machine learning models in solving problems in the field of organic agriculture	<b>133</b>

### CHEMICAL TECHNOLOGY

<b>Plotnikova S.E., Gorbunova E.M., Niftaliev S.I., Bocharova L.V., Luchko A.M.</b> Research of phase equilibria in water-salt systems containing whey components	<b>139</b>
<b>Mishagin K.A., Yamaleeva E.S., Gotlib E.M., Khatstinov A.I.</b> Preparation of wollastonite from zeolite-containing rock by solid-phase synthesis	<b>145</b>
<b>Akimenko A. A., Belusov O.V., Borisov R.V.</b> Comparison of chemical firmness of the titanium, tantalum and platinum in muriatic oxidizing environments in the autoclave	<b>152</b>


## Производство творога с улучшенными показателями качества

Ольга И. Долматова<sup>1</sup>[olgadolmatova@rambler.ru](mailto:olgadolmatova@rambler.ru) 0000-0002-4450-8856Лилиана А. Бессонова<sup>1</sup>[bessonovaliliana1803@gmail.com](mailto:bessonovaliliana1803@gmail.com)<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Творог – это полезный молочный белковый продукт, который входит в рацион питания большей части россиян. Его потребляют как самостоятельный продукт, используют как рецептурный ингредиент при производстве полуфабрикатов (например, сырники, вареники и др.). Главными процессами, определяющими качество творога, являются коагуляция казеина и обработка образующегося сгустка. Для выработки продукта стандартной влажности и консистенции необходимо получить плотный белковый сгусток с необратимо разрушающимися связями, способствующими его синерезису. Способ коагуляции белков оказывает значительное влияние на структурно-механические и синеретические свойства сгустков. Сгустки, образующиеся при кислотной коагуляции белков, имеют большую дисперсность частиц, а также меньшую вязкость и прочность по сравнению со сгустками, полученными при сычужно-кислотной коагуляции. Однако для нежирного творога и творога с массовой долей жира 5 % предпочтительнее проводить кислотную коагуляцию. На структуру и свойства сгустков влияют: химический состав молока или сливок; состав применяемых заквасок; режимы пастеризации; режимы гомогенизации; температура сквашивания; кислотность сгустка; режимы охлаждения и созревания; массовая доля хлористого кальция и др. При производстве творога использовали молоко сырое с высокими показателями качества. Опытные образцы молока отличались от контрольного повышенной массовой долей белка на 0,7–0,8 % и жира на 0,2–0,4 %, сухих веществ; наименьшим количеством соматических клеток. Составляли смесь для получения творога с массовой долей жира 5%. Пастеризацию молочной смеси проводили при температуре 80 °C с выдержкой 20 сек. Для улучшения синерезиса сгустка исключили операцию гомогенизации. При производстве творога были выбраны определенные технологические режимы, которые обеспечивали заданные характеристики сгустка. Творог, полученный по оптимизированной технологии, отличается пониженной массовой долей влаги на 4,5±0,2%, меньшей титруемой кислотностью на 25±1 °T, пониженным количеством дрожжей и плесеней, повышенной влагоудерживающей способностью по сравнению с контрольным образцом.

**Ключевые слова:** творог, технология, показатели качества, влагоудерживающая способность, органолептические показатели, физико-химические показатели, микробиологические показатели.

## Production of cottage cheese with improved quality indicators

Olga I. Dolmatova<sup>1</sup>[olgadolmatova@rambler.ru](mailto:olgadolmatova@rambler.ru) 0000-0002-4450-8856Liliana A. Bessonova<sup>1</sup>[bessonovaliliana1803@gmail.com](mailto:bessonovaliliana1803@gmail.com)<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** Cottage cheese is a healthy dairy protein product that is included in the diet of most Russians. It is consumed as an independent product, used as a prescription ingredient in the production of semi-finished products (for example, cheesecakes, dumplings, etc.). The main processes that determine the quality of cottage cheese are casein coagulation and processing of the formed clot. To produce a product of standard moisture content and consistency, it is necessary to obtain a dense protein clot with irreversibly breaking bonds that contribute to its syneresis. The method of protein coagulation has a significant impact on the structural-mechanical and syneretic properties of clots. Clots formed during acid coagulation of proteins have a greater dispersion of particles, as well as lower viscosity and strength compared to clots obtained by rennet-acid coagulation. However, for low-fat cottage cheese and cottage cheese with a mass fraction of fat of 5%, it is preferable to carry out acid coagulation. The structure and properties of clots are affected by: the chemical composition of milk or cream; the composition of the starter cultures used; pasteurization modes; homogenization modes; fermentation temperature; clot acidity; modes of cooling and maturation; mass fraction of calcium chloride, etc. Raw milk with high quality indicators was used in the production of cottage cheese. Experimental samples of milk differed from the control in increased mass fraction of protein by 0.7-0.8% and fat by 0.2-0.4%, solids; the smallest number of somatic cells. A mixture was made to obtain cottage cheese with a mass fraction of fat of 5%. Pasteurization of the milk mixture was carried out at a temperature of 80 °C with a holding time of 20 seconds. To improve clot syneresis, the homogenization operation was excluded. In the production of cottage cheese, certain technological modes were chosen that provided the specified characteristics of the clot. Cottage cheese obtained by an optimized technology is characterized by a reduced mass fraction of moisture by 4.5 ± 0.2%, lower titratable acidity by 25 ± 1 °T, a reduced amount of yeast and mold, and an increased moisture-holding capacity compared to the control sample.

**Keywords:** cottage cheese, technology, quality indicators, moisture-holding capacity, organoleptic indicators, physico-chemical indicators, microbiological indicators.

Для цитирования

Долматова О.И., Сидельников Е.М. Производство творога с улучшенными показателями качества // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 15–19. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-15-19

For citation

Dolmatova O.I., Sidelnikov E.M. Production of cottage cheese with improved quality indicators. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 15–19. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-15-19

## Введение

Творог – это полезный молочный белковый продукт, который входит в рацион питания большей части россиян. Его потребляют как самостоятельный продукт, используют как рецептурный ингредиент при производстве полуфабрикатов (например, сырники, вареники и др.).

Рассмотрим какие факторы влияют на качество готового продукта.

Главными процессами, определяющими качество творога, являются коагуляция казеина и обработка образующегося сгустка. Для выработки продукта стандартной влажности и консистенции необходимо получить плотный белковый сгусток с необратимо разрушающимися связями, способствующими его синерезису.

Способ коагуляции белков оказывает значительное влияние на структурно-механические и синергетические свойства сгустков. Сгустки, образующиеся при кислотной коагуляции белков, имеют большую дисперсность частиц, а также меньшую вязкость и прочность по сравнению со сгустками, полученными при сычужно-кислотной коагуляции. Однако для

нежирного творога и творога с массовой долей жира 5% предпочтительнее проводить кислотную коагуляцию.

На структуру и свойства сгустков влияют: химический состав молока или сливок; состав применяемых заквасок; режимы пастеризации; режимы гомогенизации; температура сквашивания; кислотность сгустка; режимы охлаждения и созревания; массовая доля хлористого кальция и др [1–20].

## Материалы и методы

Объекты исследования: творог, молоко сырое. Оценку качества готового продукта и сырья проводили в соответствии с требованиями ТР ТС 033/2013, ГОСТ Р 52054, ГОСТ 31449, ГОСТ 31453.

## Результаты и обсуждение

При производстве творога использовали молоко сырое с высокими показателями качества. Образцы № 1–10 отличались от контрольного повышенной массовой долей белка на 0,7–0,8% и жира на 0,2–0,4%, сухих веществ; наименьшим количеством соматических клеток (таблица 1).

Таблица 1.

Физико-химические показатели сырого молока

Table 1.

Physical and chemical parameters of raw milk

Образец   Sample	МД жира, % MF of fat, %	МД белка, % MF protein, %	МД казеина, % MF casein, %	МД СВ, % MF solids, %	Содержание соматических клеток в 1 см <sup>3</sup> , не более The content of somatic cells in 1 cm <sup>3</sup> , no more
Контроль   Control	3,8	3,0	2,1	11,2	2,0 • 10 <sup>5</sup>
№ 1	4,2	3,8	2,7	11,6	54200
№ 2	4,2	3,8	2,7	11,6	56800
№ 3	4,1	3,7	2,7	11,6	55100
№ 4	4,2	3,8	2,7	11,6	52800
№ 5	4,1	3,7	2,7	11,6	53600
№ 6	4,0	3,7	2,7	11,5	52400
№ 7	4,2	3,8	2,7	11,7	52700
№ 8	4,2	3,8	2,7	11,7	51500
№ 9	4,4	3,8	2,7	11,7	53800
№ 10	4,1	3,7	2,7	11,6	55000

Известно, что увеличение в молоке массовой доли сухих веществ, особенно белков, использование в заквасках энергичных кислотообразователей способствуют образованию плотных прочных молочных сгустков с выраженными синергетическими свойствами [1].

Оптимальными режимами пастеризации молока являются температура 78–80 °С с выдержкой в течение 10–20 с [1]. При низких температурах пастеризации сгусток получается недостаточно плотным, т. к. сывороточные белки практически полностью отходят в сыровотку. С повышением температуры пастеризации увеличивается денатурация сывороточных белков,

которые участвуют в образовании сгустка, повышая его прочность и усиливая влагоудерживающую способность [2]. При производстве творога пастеризацию молочной смеси проводили при температуре 80 °С с выдержкой 20 сек.

Гомогенизация сырья также способствует повышению вязкости сгустков с более равномерным распределением жировых шариков во всей массе геля, повышением количества и дисперсности жировой фазы [1]. Данный факт подтверждают исследования ученых, которые проводили изучали влияние гомогенизации на дисперсность частиц творога по методу М. Черникова и Г. Никольской и установили, что при

гомогенизации молока в первую очередь диспергирует жировая фаза, которая более равномерно распределяется в системе, как бы разрыхляя ее и придавая меньшую связанность. Продукт получается менее прочным, задерживающим сыворотку и, следовательно, мажущейся консистенции [3]. Для улучшения синерезиса сгустка при производстве творога исключена операция гомогенизации.

Отделение сыворотки легче регулировать в обезжиренном сгустке, так как жир затрудняет выделение влаги из пространственной сетки сгустка, поэтому жирный и полужирный творог часто вырабатывают раздельным способом. При производстве творога составляли смесь для получения творога с массовой долей жира 5%.

Температура сквашивания 26–32 °С способствует получению творога стандартной кислотности и влажности. При более высоких температурах увеличиваются размеры белковых частиц сгустка и степень выделения сыворотки при самопрессовании, в результате чего может получиться излишне обсушенный продукт с крошливой консистенцией. Определение окончания сквашивания молока – важный момент при производстве творога. Обработка сгустка при недостаточной кислотности приводит к получению продукта с резиновой консистенцией, а при

излишней кислотности продукта – с мажущей консистенцией и кислым вкусом, что обусловлено взаимодействием молочной кислоты с казеиновым комплексом (отщеплением от него кальция). Окончание процесса сквашивания устанавливают по виду и кислотности сгустка. Кислотность должна составлять 70–80 °Т (рН 4,5–4,7) при кислотном способе. Образующийся в процессе сквашивания плотный сгусток самопроизвольно сжимается и выделяет сыворотку. Отделение сыворотки начинается в изоэлектрической точке казеина при рН 4,6–4,7 для кислотного сгустка. Нарастание кислотности при выдержке разрезанного сгустка, а также его нагревание при отстаивании ускоряют выделение сыворотки. Наиболее интенсивный синерезис сгустка наблюдается при рН 4,2–4,3, дальнейшее повышение кислотности замедляет отделение сыворотки [1].

При производстве творога были выбраны следующие технологические режимы, которые обеспечивали определенные характеристики сгустка: температура сквашивания – 30 °С, кислотность сгустка –  $76 \pm 1$  °Т, рН – 4,7.

В готовом твороге изучали органолептические, физико-химические и микробиологические показатели (таблица 2).

Таблица 2.

## Показатели качества творога

Table 2.

## Curd quality indicators

Показатель Indicator	Характеристика   Characteristic	
	контроль   control	образец   sample
Внешний вид и консистенция Appearance and texture	Мягкая, мажущаяся, с наличием частиц молочного белка   Soft, spreadable, with milk protein particles	Мягкая, мажущаяся, с наличием частиц молочного белка   Soft, spreadable, with milk protein particles
Цвет   Color	Белый, равномерный по всей массе   White, uniform throughout	Белый, равномерный по всей массе   White, uniform throughout
Вкус и запах Taste and smell	Чистый, кисломолочный без посторонних привкусов и запахов   Clean, fermented milk without foreign tastes and odors	Чистый, кисломолочный без посторонних привкусов и запахов   Clean, fermented milk without foreign tastes and odors
МД жира, %   MFof fat, %	5	5
МД белка, %   MFof protein, %	16	16
МД влаги, %   MFof moisture, %	74,8	69,1
Титруемая кислотность, °Т Titrated acidity	196	170
КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup> QMAFAnM, CFU/cm <sup>3</sup>	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^6$
БГКП, в 0,001 г. продукта BGKP, in 0.001 g of the product	Не обнаружено   Not detected	Не обнаружено   Not detected
Дрожжи, КОЕ/см <sup>3</sup> Yeast, CFU/cm <sup>3</sup>	50	30
Плесени, КОЕ/см <sup>3</sup> Molds, CFU/cm <sup>3</sup>	50	28

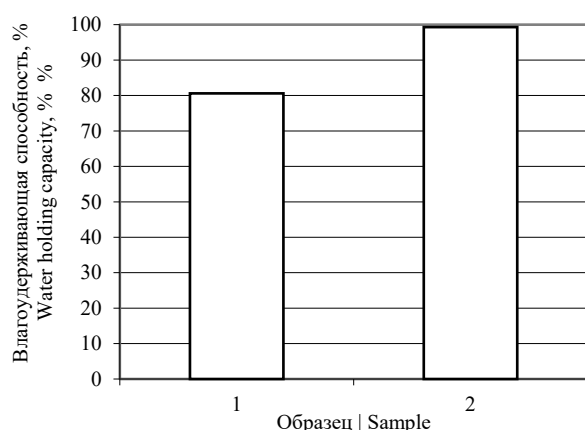


Рисунок 1. Влагоудерживающая способность творога:  
1 – контрольный образец; 2 – исследуемый образец  
Figure 1. Water-holding capacity of cottage cheese:  
1 – control sample; 2 – test sample

Влагоудерживающую способность (ВУС) творога определяли гравиметрическим методом по Грау-Хамма в модификации А.А. Алексеева (рисунок 1). Результаты лабораторных анализов показали повышенную влагоудерживающую способность опытного образца по сравнению с контрольным.

### Заключение

Творог, полученный по оптимизированной технологии, отличается пониженной массовой долей влаги на  $4,5 \pm 0,2\%$ , меньшей титруемой кислотностью на  $25 \pm 1$  °Т, пониженным количеством дрожжей и плесеней, повышенной влагоудерживающей способностью по сравнению с контрольным образцом.


### Литература

- 1 Федотова О.Б. Упаковка и хранение молока и молочной продукции // *Переработка молока*. 2012. №. 1. С. 10-11.
- 2 Харламова Е.В., Сташков С.И. Обследование технологического процесса производства творога как объекта управления показателями качества // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. 2012. №. 14. С. 58–70.
- 3 Зенина Д.В. Влияние гомогенизации на степень использования составных частей молока при производстве творога // *Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством*. 2020. Т. 1. №. 1. С. 193–198.
- 4 Скокова О.И., Пачковский А.И., Чеканова Ю.Ю. Технология творога на основе кислотной коагуляции белков молока с применением хлорида кальция и трансклутаминазы // *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*. 2018. №. 1. С. 55–60.
- 5 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.
- 6 Ямпольский А., Елисеева Т. Творог // *Журнал здорового питания и диетологии*. 2020. №. 11. С. 37–50.
- 7 Бородин А.И. Исследование потребительских предпочтений при покупке творога // *Цифровые технологии в развитии современных экономических систем*. 2023. С. 269–272.
- 8 Хабеева З.Р. Сенсорная оценка качества творога // *Научное обеспечение сельского хозяйства горных и предгорных территорий*. 2021. С. 3–5.
- 9 Баклина А.А. Экспертиза качества творога // *Современные научные исследования*. 2021. С. 98–101.
- 10 Долматова О.И., Чернышева Т.Е. Здоровый молочный перекус // *Вестник ВГУИТ*. 2020. Т. 82. №. 2 (84). С. 88–93.
- 11 Газзаева М.С., Хамицаева З.С. Экспертиза качества творога для сырников // *Перспективы развития АПК в современных условиях*. 2021. С. 151–154.
- 12 Ali M.B., Murtaza M.S., Shahbaz M., Sameen A. et al. Functional, textural, physicochemical and sensorial evaluation of cottage cheese standardized with food grade coagulants // *Food Science and Technology*. 2021. V. 42. P. e33420.
- 13 Alibekov R.S., Gabrilyants E.A., Utebaeva A.A., Nurseitova Z. T. et al. Cottage cheese fortified by natural additives // *Food Research*. 2021. V. 5. №. 1. P. 152–159.
- 14 Khatun M.T. et al. Qualitative study on the cottage cheese prepared from partially skimmed milk // *International Journal of Natural and Social Sciences*. 2019. V. 6. №. 3. P. 01–10.
- 15 Alekseeva Y.A. et al. Innovative technologies in the production of curd // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2021. V. 1155. №. 1. P. 012084.
- 16 Potter D., Vargo D. Creamed Cottage Cheese // *The Sensory Evaluation of Dairy Products*. Cham: Springer International Publishing, 2023. P. 173–198.
- 17 Razhina E. Kappa-casein influence on yield and quality of cottage cheese // *International Scientific and Practical Conference “Digital agriculture-development strategy” (ISPC 2019)*. Atlantis Press, 2019. P. 515–518.
- 18 Гетманец В.Н., Ланцева Н.Н. Разработка рецептуры творога функционального назначения // *Инновации и продовольственная безопасность*. 2019. №. 4. С. 11–23.
- 19 Долматова О.И., Зыгалова Е.И. Биотехнология творожного продукта с компонентами растительного происхождения // *Вестник ВГУИТ*. 2018. Т. 80. №. 1. С. 129–132. doi:10.20914/2310-1202-2018-1-129-132.
- 20 Щегольков Н.Ф. и др. Качество и сохранность творога в зависимости от молока коров разных пород и использования сычужного фермента // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания*. 2022. №. 1. С. 45–52.

## References

- 1 Fedotova O.B. Packaging and storage of milk and dairy products. Milk processing. 2012. no. 1. pp. 10-11. (in Russian).
- 2 Kharlamova E.V., Stashkov S.I. Survey of the technological process of cottage cheese production as an object of quality indicators management. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology. 2012. no. 14. pp. 58–70. (in Russian).
- 3 Zenina D.V. The influence of homogenization on the degree of use of milk components in the production of cottage cheese. Current issues of the dairy industry, interindustry technologies and quality management systems. 2020. vol. 1. no. 1. pp. 193–198. (in Russian).
- 4 Skokova O.I., Pachkovsky A.I., Chekanova Yu.Yu. Cottage cheese technology based on acid coagulation of milk proteins using calcium chloride and transglutaminase. Bulletin of the Mogilev State University of Food. 2018. no. 1. pp. 55–60. (in Russian).
- 5 Vlasova Zh.A., Akkatsev A.A. Biotechnology for the production of cottage cheese using a starter based on cultures of local strains of lactobacilli. Proceedings of the Mountain State Agrarian University. 2019. vol. 56. no. 1. pp. 173–176. (in Russian).
- 6 Yampolsky A., Eliseeva T. Cottage cheese. Journal of healthy nutrition and dietology. 2020. no. 11. pp. 37–50. (in Russian).
- 7 Borodina A.I. Research of consumer preferences when purchasing cottage cheese. Digital technologies in the development of modern economic systems. 2023. pp. 269–272. (in Russian).
- 8 Khabaeva Z.R. Sensory assessment of the quality of cottage cheese. Scientific support of agriculture in mountain and foothill territories. 2021. pp. 3–5. (in Russian).
- 9 Baklina A.A. Examination of the quality of cottage cheese. Modern scientific research. 2021. pp. 98–101. (in Russian).
- 10 Dolmatova O.I., Chernysheva T.E. Healthy milk snack. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 2 (84). pp. 88–93. (in Russian).
- 11 Gazzaeva M.S., Khamitsaeva Z.S. Examination of the quality of cottage cheese for cheesecakes. Prospects for the development of the agro-industrial complex in modern conditions. 2021. pp. 151–154. (in Russian).
- 12 Ali M.B., Murtaza M.S., Shahbaz M., Sameen A. et al. Functional, textural, physicochemical and sensorial evaluation of cottage cheese standardized with food grade coagulants. Food Science and Technology. 2021. vol. 42. pp. e33420.
- 13 Alibekov R.S., Gabrilyants E.A., Utebaeva A.A., Nurseitova Z. T. et al. Cottage cheese fortified by natural additives. Food Research. 2021. vol. 5. no. 1. pp. 152–159.
- 14 Khatun M.T. et al. Qualitative study on the cottage cheese prepared from partially skimmed milk. International Journal of Natural and Social Sciences. 2019. vol. 6. no. 3. pp. 01–10.
- 15 Alekseeva Y.A. et al. Innovative technologies in the production of curd. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. vol. 1155. no. 1. pp. 012084.
- 16 Potter D., Vargo D. Creamed Cottage Cheese. The Sensory Evaluation of Dairy Products. Cham: Springer International Publishing, 2023. pp. 173–198.
- 17 Razhina E. Kappa-casein influence on yield and quality of cottage cheese. International Scientific and Practical Conference “Digital agriculture-development strategy” (ISPC 2019). Atlantis Press, 2019. pp. 515–518.
- 18 Getmanets V.N., Lantseva N.N. Development of a recipe for functional cottage cheese. Innovations and food safety. 2019. no. 4. pp. 11–23. (in Russian).
- 19 Dolmatova O.I., Zygalova E.I. Biotechnology of curd product with components of plant origin. Proceedings of VSUET. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 129–132. doi:10.20914/2310-1202-2018-1-129-132 (in Russian).
- 20 Shchegolkov N.F. et al. The quality and safety of cottage cheese depending on the milk of cows of different breeds and the use of rennet. Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy nutrition products. 2022. no. 1. pp. 45–52. (in Russian).

## Сведения об авторах

**Ольга И. Долматова** к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [olgadolmatova@rambler.ru](mailto:olgadolmatova@rambler.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-4450-8856>

**Лилиана А. Бессонова** студент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, [bessonovaliliana1803@gmail.com](mailto:bessonovaliliana1803@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

**Olga I. Dolmatova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, animal origin products technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [olgadolmatova@rambler.ru](mailto:olgadolmatova@rambler.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-4450-8856>

**Liliana A. Bessonova** student, animal origin products technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, [bessonovaliliana1803@gmail.com](mailto:bessonovaliliana1803@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 20/09/2023	После редакции 12/10/2023	Принята в печать 22/11/2023
Received 20/09/2023	Accepted in revised 12/10/2023	Accepted 22/11/2023

## Влияние дозировки клетчатки топинамбура, продукта комплексной технологии спирта, на изменение свойств рисовых экструдатов

Мария В. Амелякина	<sup>1</sup>	<a href="mailto:masha.am@mail.ru">masha.am@mail.ru</a>	 0000-0002-5138-6746
Виктор В. Иванов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ivanov.v.v@li.ru">ivanov.v.v@li.ru</a>	 0000-0002-6492-7070
Дарья В. Поливановская	<sup>1</sup>	<a href="mailto:dashpol@mail.ru">dashpol@mail.ru</a>	 0000-0002-6078-9280
Антон Ю. Шариков	<sup>1</sup>	<a href="mailto:charikov@yandex.ru">charikov@yandex.ru</a>	 0000-0001-9483-5209
Ирина М. Абрамова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:4953624495@mail.ru">4953624495@mail.ru</a>	 0000-0001-9297-0554

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, Самокатная улица, д.4 Б, г. Москва, 111033, Россия

**Аннотация.** В результате поиска новых источников сырья для спиртовой промышленности установлена перспективность использования топинамбура. Одним из вторичных сырьевых ресурсов комплексной переработки топинамбура на этанол является клетчатка топинамбура, дисперсная фракция, образуемая в результате ферментативного гидролиза и разделения гидролизата на фракции. Данный продукт ферментативного гидролиза топинамбура может быть востребован пищевой промышленностью как ингредиент с высоким содержанием пищевых волокон. Синергия использования клетчатки топинамбура может быть достигнута при производстве продуктов, совмещающих в себе традиционные пищевые качества и дополнительные функциональные свойства, что отвечает основным тенденциям развития пищевой промышленности. Среди такой продукции популярностью пользуются продукты, готовые к употреблению и произведенные по экструзионной технологии, например снеки и каши. Традиционно основным сырьем для экструдированных продуктов являются крахмалсодержащие ингредиенты благодаря особенностям их морфологической структуры и способности формировать пористую структуру в результате экструзионной переработки. Крахмалистое сырье после высокотехнологичной обработки содержит недостаточное количество биологически активных соединений и требует дополнительного обогащения путем добавления функциональных ингредиентов. В исследовании была изучена возможность включения клетчатки топинамбура, дисперсной фракции образуемой при его комплексной переработке на спирт, в состав экструдированных продуктов и его влияние на технологические свойства экструдатов. Объектами исследования были рисовые экструдаты с содержанием высушенной клетчатки топинамбура до 9%. Готовили смеси рисовой крупы с различным содержанием клетчатки, которые экструдировали на лабораторном двухшнековом экструдере Werner & Phleiderer Continua 37 при фиксированных режимных параметрах. По результатам проведения процесса оценивали изменение зависимых параметров экструзии, таких как крутящий момент, давление, температура. В экструдатах определяли структурно-механические свойства, коэффициент расширения, твердость, количество микроразломов, гидратационные свойства и изменение цветовых характеристик. Добавление и повышение содержания клетчатки топинамбура до 9% в экструдруемых смесях не повлияли на изменение режимов экструзии и удельного расхода электроэнергии. Значение температуры изменялось в диапазоне 165–166 °С, давление 3,3–3,5 МПа. С увеличением содержания клетчатки топинамбура отмечены значимые изменения структурно-механических свойств. Квадратичный коэффициент расширения и твердость образцов снизились с 11,2 до 7,8 и 13,2 Н до 5,4 Н, соответственно, количество микроразломов, характеризующее пористость, увеличилось с 6,7 до 11,2. Гидратационные свойства образцов, влагоудерживающая способность, растворимость изменялись незначимо. Установлено увеличение набухаемости с 7 до 8,5 см<sup>3</sup>/г. Количественное содержание клетчатки в рецептурах оказало значительное влияние на цвет образцов, с увеличением ее дозировки цвет становился темнее и приобретал коричневый оттенок. Проведенные исследования показывают, что повышение содержания клетчатки топинамбура до 9 % в смеси оказывает влияние в большей части на структурно-механические свойства экструдатов, значимые при разработках снековой продукции. Гидратационные свойства, экструдатов, используемых как основа для готовых к употреблению каш, инстант-продуктов, от содержания дозировки клетчатки топинамбура не зависят.

**Ключевые слова:** топинамбур, экструдаты, комплексная переработка, клетчатка, спирт, ферментативный гидролиз, функциональные ингредиенты, рис.

## The influence of the dosage of Jerusalem artichoke fiber, a by-product of complex ethanol technology, on changes in the properties of rice extrudates





Для цитирования

Амелякина М.В., Иванов В.В., Поливановская Д.В., Шариков А.Ю., Абрамова И.М. Влияние дозировки клетчатки топинамбура, продукта комплексной технологии спирта, на изменение свойств рисовых экструдатов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 20–27. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-20-27

For citation

Amelyakina M.V., Ivanov V.V., Polivanovskaya D.V., Sharikov A.Yu., Abramova I.M. The influence of the dosage of Jerusalem artichoke fiber, a by-product of complex ethanol technology, on changes in the properties of rice extrudates. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 20–27. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-20-27

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

Maria V. Amelyakina	<sup>1</sup>	masha.am@mail.ru	 0000-0002-5138-6746
Victor V. Ivanov	<sup>1</sup>	ivanov.v.v@li.ru	 0000-0002-6492-7070
Daria V. Polivanovskaya	<sup>1</sup>	dashpol@mail.ru	 0000-0002-6078-9280
Anton Yu. Sharikov	<sup>1</sup>	charikov@yandex.ru	 0000-0001-9483-5209
Irina M. Abramova	<sup>1</sup>	4953624495@mail.ru	 0000-0001-9297-0554

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Scooter Street, 4 B, Moscow, 111033, Russia.

**Abstract.** Jerusalem artichoke is a promising raw material for the alcohol industry. One of the by-products of the complex processing of Jerusalem artichoke into ethanol is dietary fibers, which is a dispersed fraction formed as a result of enzymatic hydrolysis and separation of the hydrolyzate into fractions. This product of enzymatic hydrolysis of Jerusalem artichoke can be in demand by the food industry as an ingredient with a high content of dietary fiber. The synergy of using Jerusalem artichoke fiber can be achieved in the production of products that combine traditional nutritional qualities and additional functional properties, which meets the main trends in the development of the food industry. Among such products, ready-to-eat products such as snacks and instant cereal products produced by extrusion technology are popular. Traditionally, the main raw materials for extruded products are starch-containing ingredients due to the peculiarities of their morphological structure and the ability to form a porous structure as a result of extrusion processing. Starchy raw materials after refining contain an insufficient amount of biologically active compounds and require additional enrichment by adding functional ingredients. The study examined the possibility of including Jerusalem artichoke fiber, the dispersed fraction formed during its complex processing of Jerusalem artichoke into alcohol, into the recipes of extruded products and its effect on the technological properties of the extrudates. The objects of the study were rice extrudates containing dried Jerusalem artichoke fiber up to 9%. Mixtures of rice cereals with different fiber content were prepared and extruded using Werner&Phleiderer Continua 37 laboratory twin-screw extruder under fixed operating parameters. Based on the results of the process, changes in dependent extrusion parameters such as torque, pressure, and temperature were assessed. The structural and mechanical properties, expansion coefficient, hardness, number of microfractures, hydration properties and changes in color characteristics were determined in the extrudates. Increasing the content of Jerusalem artichoke fiber up to 9% in extruded mixtures did not affect the change in extrusion modes and specific energy consumption. The temperature value varied in the range of 165-166 °C, pressure - 3.3-3.5 MPa. With an increase in the content of Jerusalem artichoke fiber, significant changes in the structural and mechanical properties were noted. The quadratic coefficient of expansion and hardness of the samples decreased from 11.2 to 7.8 and 13.2 N to 5.4 N, respectively. The number of microfractures characterizing porosity increased from 6.7 to 11.2. The hydration properties of the samples, water-holding capacity, solubility changed insignificantly. An increase from 7 to 8.5 sm<sup>3</sup>/g in swelling properties was found. Increasing the dosage of fibers significantly affected the change in the color of the samples: the color became darker and acquired a brown tint. The results of the study show that increasing the content of Jerusalem artichoke fiber to 9% in the mixture largely affects the structural and mechanical properties of extrudates, which are significant in the development of snack products. The hydration properties of extrudates used as the basis for ready-to-eat cereals do not depend on the content of Jerusalem artichoke hydrolyzate.

**Keywords:** Jerusalem artichoke, extrudates, complex processing, alcohol, fibers, enzymatic hydrolysis, functional ingredients, rice.

## Введение

Технологические возможности пищевой экструзии позволяют разрабатывать многокомпонентные продукты, совмещающие в себе качество, безопасность, высокую пищевую ценность и удобство употребления. Для повышения биологической ценности экструдированных продуктов ведутся исследования по использованию в их составе различных функциональных ингредиентов как источников пищевых волокон, фенольных и других биологически активных веществ [1, 2].

Одним из перспективных ингредиентов, который можно использовать для дополнения и обогащения пищевых продуктов, является топинамбур. Благодаря своим свойствам (низкая влагоудерживающая способность, белый цвет и слабое влияние на вкусовые свойства) и составу, топинамбур используется во многих отраслях пищевой промышленности [3, 4]. В клубнях топинамбура накапливается большое количество фруктанов, инулина и фруктоолигосахаридов, в диапазоне от 16 до 20% по весу в свежем виде (Все компоненты топинамбура имеют высокие потребительские свойства. Особо ценным углеводным компонентом является инулин, он состоит из d-фруктозы, связанной β-(2–1) гликозидными связями различной длины. Такой состав позволяет

инулину относится к категории неперевариваемых углеводов, что дает возможность использовать топинамбур при производстве специализированных продуктов лечебного и профилактического назначения [5, 6]. Инулин обеспечивает всасывание кальция, магния и калия в пищеварительном тракте, оказывает гипогликемическое действие и антидиабетический эффект, кроме того он обладает противовоспалительными, антибактериальными, противораковыми и антиоксидантными свойствами [7]. Высокое содержание сбраживаемых углеводов, азотистых веществ, экологическая пластичность, высокая урожайность и широкая распространенность, вызвали повышенный интерес к топинамбуру, как к перспективному сырью для производства алкогольной продукции и биоэтанола [8, 9]. Оригинальный аромат этанола топинамбура позволяет его использовать для производства бренди во Франции и Германии, а также саке в Японии [10, 11]. В результате переработки топинамбура образуются побочные продукты с высоким содержанием пищевых волокон, которые могут использоваться в качестве функциональных ингредиентов для улучшения структурных и физических свойств при создании пищевых продуктов. [12–14]. Таким образом, разработка технологии получения

пищевых продуктов на основе использования вторичных сырьевых ресурсов переработки топинамбура на спирт является актуальной.

**Цель работы** – оценка возможности использования продукта биконверсии топинамбура в экструдированных продуктах, готовых к употреблению, и изучение влияния дозировки клетчатки топинамбура, образуемой при его переработке на спирт, на технологические свойства экструдатов.

### Материалы и методы

Объекты исследования: экструдаты на основе рисовой крупы с различным содержанием клетчатки топинамбура.

Для приготовления экструдатов в качестве модельной основы для экструдатов использовали дробленную рисовую крупу (ГОСТ 6292–93) как отход крупяного производства. Вносимый в крупу ингредиент клетчатку получали из топинамбура сорта «Интерес», отобранную на стадии гидроизмельчения в технологии переработки корнеплода на спирт. Клетчатку добавляли в количестве 3–9% от массы смеси. Клубни топинамбура промывали, подвергали измельчению на роторном диспергаторе, проводили первую фазу водно-ферментативной обработки ферментным препаратом гемицеллюлазного действия Viscozyme HT FG в дозировке 0,25 ед. КС/г сухих веществ при гидромодуле 1:1. Далее осахаривали массу в течении 60 минут с применением инулазы Novozym 960 в дозировке 0,5 ед. INU/г инулина, полученное сусло центрифугированием разделяли на дисперсную и жидкую фазы. Жидкая фаза использовалась как субстрат спиртового брожения, а дисперсную фазу высушивали до постоянной влажности 5% при температуре 60 °С. В высушенном ингредиенте определяли содержание белка, жира, водорастворимых углеводов, пищевых волокон. Определение сырого протеина определяли методом Кьельдаля по ГОСТ Р 57221–2016 «Дрожжи кормовые. Методы испытаний», определение сырой золы проводили методом озоления по ГОСТ 32933–2014

(ISO 5984:2002) «Корма, комбикорма. Метод определения содержания сырой золы». Содержание жира определяли экстракцией жира с последующим гравиметрическим определением разности массы навески до и после экстракции по ГОСТ ISO 734–1–2016 «Жмыхи и шроты. Определение содержания сырого жира». Содержание пищевых волокон определяли методом ферментативного гидролиза с последующим удалением белковых и крахмалистых веществ по ГОСТ Р 54014–2010 «Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом».

В качестве контроля использовалась экструдированная дробленая рисовая крупа без добавления клетчатки топинамбура.

В таблице 1 представлены данные по оценке химического состава контрольной смеси и образцов с различным содержанием гидролизата. Пищевую ценность смесей оценивали расчетным способом, используя справочные данные [15] и результаты химического анализа гидролизата топинамбура. Экструзию осуществляли на лабораторном двухшнековом экструдере Werner & Phleiderer Continua 37. Для формования стренга экструдата была установлена фильера с двумя отверстиями круглого сечения диаметром 4 мм. Режимы экструзии были постоянными: производительность 20 кг/час, скорость вращения шнеков 240 об/мин.

Удельный расход электроэнергии рассчитывали по формуле [16]:

$$SME = n/(n_{\max} \cdot Kg) \cdot N \cdot M, \quad (1)$$

где SME – удельный расход энергии на экструдирование, кВт·ч/кг сырья; N – мощность двигателя экструдера, кВт; M – момент на валу редуктора; n и  $n_{\max}$  – скорость вращения шнеков установленная и максимальная, соответственно, об/мин; Kg – производительность по сырью, кг/ч.

Таблица 1.

Оценка пищевой ценности экструдруемых смесей

Table 1.

Nutritional value of mixtures

Показатель, г/100 г Indicator, g/100 g	Дозировка клетчатки топинамбура Jerusalem artichoke fibers dosage, %			
	0	3	6	9
Углеводы   Carbohydrates	74 ± 0,06	72,8 ± 0,04	71,7 ± 0,02	70,5 ± 0,03
Протеин   Protein	7,0 ± 0,03	6,9 ± 0,11	6,9 ± 0,09	6,9 ± 0,08
Жир   Fats	1,0 ± 0,04	1,0 ± 0,04	1,0 ± 0,05	1,0 ± 0,02
Пищевые волокна   Dietary fibers	3,0 ± 0,05	4,5 ± 0,35	6 ± 0,49	7,4 ± 0,41

Структурно-механические свойства экструдированных продуктов оценивали по показателям коэффициента квадратического расширения, твердости и количеству микроразломов. Квадратичный коэффициент расширения рассчитывался

как соотношение площадей сечения экструдата и отверстия фильеры. Показатели текстуры образцов определяли на анализаторе структуры СТ 3 (Brookfield, США) с металлическим индентором диаметром 3 мм.

В аспекте разработки продуктов, готовых к употреблению, важными показателями являются гидратационные свойства продуктов. Набухаемость определяли объемным методом. В стеклянный стакан 100 см<sup>3</sup> наливали воду и вносили 5 г измельченного экструдата с тонинной помола менее 400 мкм. Перемешивание осуществляли спиралевидной мешалкой до однородной консистенции со скоростью 500 об/мин и оставляли на 24 часа, затем отмечали границу раздела двух фаз: верхняя – прозрачная жидкая, нижняя – непрозрачная с набухшим продуктом. Набухаемость продукта в см<sup>3</sup>/г вычисляли отношением объема продукта после отстаивания к массе навески. Растворимость и влагоудерживающую способность определяли по массе осадка и содержанию растворимых сухих веществ в фугате после центрифугирования суспензии при 3000×g [17].

Цветовые показатели определяли колориметрическим методом с использованием анализатора CS -10 в системе CIE LAB, где L – координата светлоты, а – хроматический компонент, изменяется от зеленого до красного, b – хроматический компонент, от синего до желтого.

Достоверность различий средних оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа при  $p < 0,05$  с использованием пакета Statistica 6.0.

### Результаты и обсуждение

Смеси рисовой крупы с различным содержанием гидролизата топинамбура экструдировали на двухшнековом экструдере, полученные экструдаты оценивали по изменению структурно-механических и реологических свойств.

Данные по влиянию содержания гидролизата топинамбура в экструдированной смеси на режимные параметры экструзии представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Влияние дозировки гидролизата топинамбура на параметры экструзии

Table 2.

Effect of Jerusalem artichoke fibers dosage on extrusion parameters

Параметры экструзии Extrusion parameters	Дозировка клетчатки топинамбура, % Jerusalem artichoke fibers dosage, %			
	0	3	6	9
Момент сдвига, % Torgue, %	60 ± 4	61 ± 3	60 ± 4	59 ± 3
Давление, МПа Pressure, MPa	3,5 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,4 ± 0,1	3,3 ± 0,2
Температура, °C Temperature, °C	165 ± 4	165 ± 3	165 ± 3	166 ± 2
Удельный расход электроэнергии, кВт×час/кг Specific mechanic energy, kW×h/kg	0,133 ± 0,009	0,135 ± 0,007	0,133 ± 0,009	0,131 ± 0,007

В сравнении с контролем увеличение содержания гидролизата в смеси не оказало значимого влияния на параметры экструзии, в частности на температуру и давление. Показатели температуры составили 165 °C при обработке контроля и образцов с 3%, 6% гидролизата и 166 °C при добавлении 9% гидролизата. С увеличением дозировки гидролизата показатели удельного расхода электроэнергии и момента сдвига изменялись в диапазоне 0,131–0,135 кВт·ч/кг и 59–60% соответственно, статистически не зависели от изменения дозировки гидролизата топинамбура.

Фото полученных экструдатов представлено на рисунке 1.

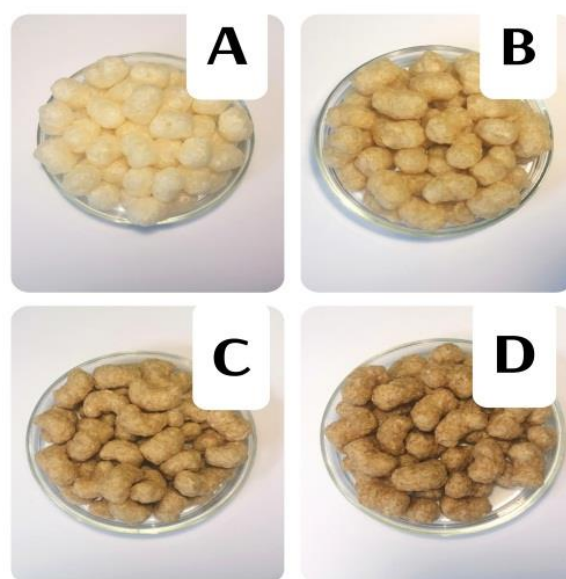


Рисунок 1. Образцы экструдатов с различным содержанием клетчатки топинамбура: А – 0%; В – 3%; С – 6%; D – 9%

Figure 1. Samples of extrudates with different contents of Jerusalem artichoke fibers: A – 0%; B – 3%; C – 6%; D – 9%

Исследования структуры полученных экспериментальных образцов (таблица 3) показали, что с добавлением и увеличением содержания гидролизата топинамбура уменьшаются показатели квадратичного коэффициента расширения с 11,2 до 7,5, что свидетельствует об незначительном увеличении плотности структуры экспериментальных образцов. При этом значимых отличий в показателях насыпной плотности отмечено не было. Феномен влияния пищевых волокон на изменение структурно-механических свойств экструдатов крахмалсодержащего сырья достаточно подробно описан в литературе [6]. Экспериментальные данные подтверждают общие тенденции, снижение коэффициента расширения с увеличением содержания пищевых волокон [18–20].

Отмечено, что с увеличением дозировки гидролизата топинамбура твердость экструдата уменьшается с 13,2 до 5,4 Н и возрастает количество микроразломов почти в 2 раза с 6,7 до 11,5. Увеличение количества микроразломов может быть следствием более интенсивного испарения воды вокруг частичек клетчатки гидролизата топинамбура, выполняющих роль центров парообразования [18]. Это приводит образованию повышенного количества воздушных полостей в продукте, и он становится более пористым

и хрупким, при этом необходимо отметить отсутствие значимого влияния содержания клетчатки топинамбура в смеси на насыпную плотность экструдатов. Это может быть связано с двумя компенсирующими друг друга тенденциями: с повышением содержания клетчатки снижается квадратичный коэффициент расширения, т. е. гранулы становятся меньше, но при этом растет пористость, т. е. гранулы становятся воздушней.

Таблица 3.

## Структурно-механические свойства экструдатов

Table 3.

## Structural and mechanical properties of extrudates

Показатель   Parameter	Дозировка клетчатки топинамбура, %   Jerusalem artichoke fibers dosage, %			
	0	3	6	9
Квадратичный коэффициент расширения   Quadratic expansion index	11,2 ± 0,9	9,6 ± 0,6	7,8 ± 0,7	7,5 ± 0,8
Насыпная плотность, г/дм <sup>3</sup>   Bulk density, g/dm <sup>3</sup>	104,5 ± 2,1	104,0 ± 2,8	104,2 ± 4,4	104,5 ± 4,9
Твердость, Н   Hardness, N	13,2 ± 3,6	10,3 ± 2,5	8,9 ± 0,8	5,4 ± 1,0
Количество микроразломов   Number of microfractures	6,7 ± 1,3	9,0 ± 1,3	10 ± 1,0	11,5 ± 1,7

Гидратационные свойства показывают возможность экструдата связывать воду и растворяться в ней, отвечают за степень усвояемости и сроки годности. Их изменение важно при проектировании продуктов быстрого приготовления, каш, пюре. Основные показатели гидратационных свойств это влагоудерживающая способность, растворимость, набухаемость, влажность. Данные по влиянию содержания клетчатки топинамбура в экструдате на гидратационные свойства экструдатов, которые могут использоваться как ингредиенты при конструировании инстант-продуктов представлены в таблице 4. Результаты

исследования показали, что увеличение дозировки клетчатки топинамбура оказало значимое влияние на набухаемость экструдата и его равновесную влажность. Показатель набухаемости значимо вырос с 7 до 8,5 см<sup>3</sup>/г. Влажность образцов снизилась с 8,8 до 8,2%. Значимых изменений показателей растворимости и влагоудерживающей способности отмечено не было. Контрольное значение растворимости составило 85%, а при добавлении 3–9% клетчатки составило 81–85%. Наблюдалось незначимое увеличение влагоудерживающей способности с 4,2 контрольного образца до 4,5 при 9% гидролизата.

Таблица 4.

## Гидратационные свойства экструдатов

Table 4.

## Hydration properties of extrudates

Показатель   Parameter	Дозировка клетчатки топинамбура, %   Jerusalem artichoke fibers dosage, %			
	0	3	6	9
Набухаемость, см <sup>3</sup> /г   Swelling capacity, cm <sup>3</sup> /g	7 ± 0,2	7,5 ± 0,3	8,7 ± 0,3	8,5 ± 0,2
Влагоудерживающая способность, г/г   Water holding capacity, g/g	4,2 ± 0,1	4,0 ± 0,1	4,2 ± 0,2	4,5 ± 0,2
Растворимость, %   Solubility, %	85 ± 4	84 ± 5	81 ± 4	83 ± 5
Влажность, %   Moisture, %	8,8 ± 0,2	8,7 ± 0,1	8,5 ± 0,2	8,2 ± 0,2

Количество вносимой клетчатки топинамбура значимо изменяло цвет экструдатов. С увеличением ее дозировки цвет становился темнее и приобретал коричневый оттенок. Данные колориметрической оценки экструдатов представлены в таблице 5. Показатель светлоты L по шкале переходит в более темный диапазон, приобретая коричневый оттенок. Имеет слабую насыщенность цвета. Шкала «а» от зеленого

до красного показывает тренд на переход цвета образцов в красный оттенок, шкала «b» от синего до желтого показывает переход цвета образцов в сторону желтого оттенка. Согласно данным конвертора системы LAB контролю соответствует молочный цвет, образцу с содержанием 3% клетчатки топинамбура – бежевый, 6% – бледно-коричневый, 9% – светло-коричневый.

Таблица 5.

## Цветовые характеристики экструдатов

Table 5.

## Color characteristics of extrudates

Показатель   Parameter	Дозировка клетчатки топинамбура, %   Jerusalem artichoke fibers dosage, %			
	0	3	6	9
L	89,5 ± 1,3	83,9 ± 0,4	76,0 ± 1,1	70,7 ± 1,0
a	2,6 ± 0,8	2,4 ± 0,3	3,3 ± 0,2	4,3 ± 0,3
b	7,8 ± 0,3	17,6 ± 0,3	21,9 ± 0,6	24,0 ± 0,4

**Заключение**

Внесение 6% и более высушенной клетчатки топинамбура в экструдированную дробленую рисовую крупу, образуемую при шлифовании риса, позволяет получать продукт с содержанием пищевых волокон более 6 г на 100 г продукта. В соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 022/2011 отличительный признак такой продукции может маркироваться как продукт с высоким содержанием пищевых волокон.

Анализ результатов исследования показывает, что внесение клетчатки топинамбура, продукта его переработки на спирт, до 9% не оказывает отрицательного влияния на режимы экструзии, они остаются стабильными и значимо не изменяются. Температура экструдирования составляла 165–166 °С, давление 3,3–3,5 МПа, момент сдвига 59–60%, удельный расход электроэнергии 0,131–0,133 кВт·час/кг. Структура экструдатов с увеличением дозировки становится более пористой и хрусткой,

менее твердой, но при этом значимо снижается размер гранул. Цвет экструдатов приобретает коричневый оттенок. С увеличением дозировки гидролизата не изменяются показатели растворимости и влагоудерживающей способности, при этом значимо увеличивается набухаемость.

Установленные тенденции изменения функционально-технологических свойств могут быть положены в основу экструзионных продуктов, в том числе специализированного назначения. При этом содержание клетчатки топинамбура может быть фактором управления не только пищевой ценностью продукта, но и органолептическими характеристиками в аспекте структуры и реологии. Например, получении продуктов в заданном диапазоне твердости или пористости для снеков, сухих завтраков, хлебцев, или набухаемости для каш быстрого приготовления.

**Финансирование**

Работа выполнена в рамках Гранта № 22-16-00159 <https://rscf.ru/project/22-16-00159/>

**Литература**

- Бахарев В.В., Воронина М.С., Гуляева А.Н., Нафикова О.А. и др. Исследование физико-химических показателей свекольных выжимок после их дегидратации с последующей экструзией // Индустрия питания. 2022. Т. 7, № 3. С. 25–31. doi: 10.29141/2500–1922–2022–7–3–3
- Шариков А.Ю., Соколова Е.Н., Волкова Г.С., Куксова Е.В. и др. Процессы биокатализа и термопластической экструзии в технологии готовых к употреблению продуктов с использованием жмыхов плодово-ягодного сырья // Биотехнология. 2022. Т. 38. № 4. С. 67–71. doi: 10.56304/S0234275822040135
- Скиданова М.А., Цветкова Е.Э., Биньковская О.В. Значение топинамбура в пищевой промышленности // Новое слово в науке: перспективы развития. 2016. № 3. С. 59–60. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26508274>
- Junko T., Toshio N. Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers and analysis of their functional properties // Food Chemistry. 2011. V. 1263. P.922–926. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.11.080
- Сербяева Э.Р., Якупова А.Б., Магасумова Ю.Р., Фархутдинова К.А. и др. Инулин: природные источники, особенности метаболизма в растениях и практическое применение // Биомика. 2020. Т. 12(1). С. 57–79. doi: 10.31301/2221–6197.bmc.2020–5 ISSN 2221–6197
- Newlove A.A. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary fiber powder functionality // Heliyon. 2022. V. 812. e12426. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12426
- Ceylan H., Bilgiçli N., Cankurtaran, T. Improvement of functional cake formulation using Jerusalem artichoke flour as inulin source and resistant starch (RS4) // LWT – Food Science and Technology. 2021. V. 145. P. 111301. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111301
- Ободеева О.Н., Крикунова Л.Н. Изучение динамики трансформации летучих компонентов дистиллятов из топинамбура в процессе их выдержки (отдыха) // Актуальные вопросы индустрии напитков. 2018. № 2. С. 87–89. doi: 10.21323/978–5–6041190–3–7–2018–2–87–89
- Туршатов М.В., Соловьев А.О., Волкова Г.С., Никитенко В.Д. Комплексная переработка топинамбура с получением пищевых функциональных продуктов // Актуальная биотехнология. 2022. № 1. С. 255.
- Yang L., He Q., Corscadden K., Udenigwe C. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production // Biotechnology Reports. 2015. V. 5. P. 77–88. doi: 10.1016/j.btre.2014.12.004
- Hu J.F., Qiu S.Y. Research process in ethanol production by the fermentation of Jerusalem artichoke // Liq. Mark. Sci Technol. 2009. V. 182. P. 100–104.


- 12 Дерканосова Н.М., Шеламова С.А., Василенко О.А., Пальчикова С.С. Изучение потенциала продуктов переработки топинамбура как обогащающих пищевых ингредиентов // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2022. № 1(18). С. 5–11. doi: 10.53914/issn2311-6870\_2022\_1\_5
- 13 Соловьев А.О. Изучение реологических свойств замеса при получении спирта из топинамбура // Пищевая промышленность. 2023. № 5. С. 39–41. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.010
- 14 Li L., Li L., Wang Y., Du Y., Qin S. Biorefinery products from the inulin containing crop Jerusalem artichoke // *Biotechnology Letters*. 2013. V. 35. P. 471–477.
- 15 Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских продуктов питания. ДеЛи принт, 2002. 236 с.
- 16 Ainsworth P., İbanoğlu Ş., Plunkett A., İbanoğlu E. et al. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack // *Journal of Food Engineering*. 2007. V. 81. № 4. P. 702709. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004
- 17 Stojceska V., Ainsworth P., Plunkett A., İbanoğlu S. The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten free products // *Food Chemistry*. 2010. V. 121. P. 156–164 doi: 10.1016/j.foodchem.2009.12.024
- 18 Moraru C.I., Kokini J.L. Nucleation and Expansion During Extrusion and Microwave Heating of Cereal // *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2003. V. 2. P. 120–138.
- 19 Afoakwa N.A. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary-fiber powder functionality // *Heliyon*. 2022. V. 8. №. 12.
- 20 Manokhina A.A., Dorokhov A.S., Kobozeva T.P., Fomina T.N. et al. Jerusalem artichoke as a strategic crop for solving food problems // *Agronomy*. 2022. V. 12. №. 2. P. 465.

### References

- 1 Bakharev V.V., Voronina M.S., Gulyaeva A.N., Nafikova O.A. Dehydration of Beet Bagasse with Subsequent Extrusion and Their Physico-Chemical Parameters Comparison. The food industry. 2022. vol. 7. no. 3. pp. 25–31. doi: 10.29141/2500-1922-2022-7-3-3 (in Russian)
- 2 Sharikov A.Yu., Sokolova E.N., Volkova G.S., Kuksova E.V. et al. Biocatalysis and Thermoplastic Extrusion in Obtaining of Ready-to-Eat Products using Fruit and Berry Pomaces. *Biotechnology*. 2022. vol. 38. no. 4. pp. 67–71. doi: 10.56304/S0234275822040135 (in Russian).
- 3 Skidanova M.A., Tsvetkova E.E., Binkovskaya O.V. The importance of jerusalem artichoke in the food. A new word in science: development prospects. 2016. no. 3–9. pp. 59–60. (in Russian)
- 4 Junko T., Toshio N. Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers and analysis of their functional properties. *Food Chemistry*. 2011. vol. 1263. pp. 922–926. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.11.080
- 5 Serbaeva E.R., Yakupova A.B., Magasumova Yu.R., Farkhutdinova K.A. et al. Inulin: natural sources, peculiarities of metabolism in plants and practical application. *Biomika*. 2020. vol. 12(1). pp. 57–79. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5 (in Russian).
- 6 Newlove A.A. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary fiber powder functionality. *Heliyon*. 2022. vol. 812. e12426. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12426
- 7 Ceylan H., Bilgiçli N., Cankurtaran, T. Improvement of functional cake formulation using Jerusalem artichoke flour as inulin source and resistant starch (RS4). *LWT – Food Science and Technology*. 2021. vol. 145. pp. 111301. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111301
- 8 Obodeeva O.N., Krikunova L.N. Studying the dynamics of transformation of volatile components of jerusalem artichoke distillates during their aging (rest). *Topical issues of the beverage industry*. 2018. no. 2. pp. 87–89. doi: 10.21323/978-5-6041190-3-7-2018-2-87-89 (in Russian).
- 9 Turshatov M.V., Solovyov A.O., Volkova G.S., Nikitenko V.D. Complex processing of jerusalem artichoke to obtain functional food products. *Current biotechnology*. 2022. no. 1. pp. 25. doi: 10.20914/2304-4691-2022-1-255 (in Russian).
- 10 Yang L., He Q., Corscadden K., Udenigwe C. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnology Reports*. 2015. vol. 5. pp. 77–88. doi: 10.1016/j.btre.2014.12.004
- 11 Hu J.F., Qiu S.Y. Research process in ethanol production by the fermentation of Jerusalem artichoke. *Liq. Mark. Sci Technol*. 2009. vol. 182. pp. 100–104.
- 12 Derkanosova N.M., Shelamova S.A., Vasilenko O.A., Palchikova S.S. Studying the potential of Jerusalem artichoke processing products as enriching food ingredients. *Technology and commodity science of agricultural products*. 2022. no. 1(18). pp. 5–11. doi: 10.53914/issn2311-6870\_2022\_1\_5 (in Russian).
- 13 Solovyov A.O. The study of the rheological properties of the batch when obtaining alcohol from jerusalem artichoke. *Food processing industry*. 2023. no. 5. pp. 39–41. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.010 (in Russian).
- 14 Li L., Li L., Wang Y., Du Y. et al. Biorefinery products from the inulin containing crop Jerusalem artichoke. *Biotechnology Letters*. 2013. vol. 35. pp. 471–477.
- 15 Skurikhin I.M., Tutelyan V.A. Chemical composition of Russian food products. 2002. (in Russian).
- 16 Ainsworth P., İbanoğlu Ş., Plunkett A., İbanoğlu E., Stojceska V. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*. 2007. vol. 81. no. 4. pp. 702709. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004
- 17 Stojceska V., Ainsworth P., Plunkett A., İbanoğlu S. The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten free products. *Food Chemistry*. 2010. vol. 121. pp. 156–164 doi: 10.1016/j.foodchem.2009.12.024
- 18 Moraru C.I., Kokini J.L. Nucleation and Expansion During Extrusion and Microwave Heating of Cereal. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2003. vol. 2. pp. 120–138.
- 19 Afoakwa N.A. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) dietary-fiber powder functionality. *Heliyon*. 2022. vol. 8. no. 12.
- 20 Manokhina A.A., Dorokhov A.S., Kobozeva T.P., Fomina T.N. et al. Jerusalem artichoke as a strategic crop for solving food problems. *Agronomy*. 2022. vol. 12. no. 2. pp. 465.

## Сведения об авторах


**Мария В. Амелякина** к.т.н., ст. научн. сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, masha.am@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>


**Виктор В. Иванов** к.т.н., вед. науч. сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, ivanov.v.v@li.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>


**Дарья В. Поливановская** мл. научн. сотрудник, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, dashpol@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6078-9280>

**Антон Ю. Шариков** к.т.н., зав. отделом, отдел оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, charikov@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

**Ирина М. Абрамова** д.т.н., директор, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ул. Самокатная, 4Б, г. Москва, 111033, Россия, 4953624495@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

## Вклад авторов

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

## Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Information about authors


**Maria V. Amelyakina** Cand. Sci. (Engin.), senior researcher, food production equipment and membrane technologies department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya Str., 4B Moscow, 111033, Russia, masha.am@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>


**Victor V. Ivanov** Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, food production equipment and membrane technologies department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya Str., 4B Moscow, 111033, Russia, ivanov.v.v@li.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>


**Daria V. Polivanovskaya** junior researcher, food production equipment and membrane technologies department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya Str., 4B Moscow, 111033, Russia, dashpol@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6078-9280>

**Anton Yu. Sharikov** Cand. Sci. (Engin.), head of the department, food production equipment and membrane technologies department, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya Str., 4B Moscow, 111033, Russia, charikov@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

**Irina M. Abramova** Dr. Sci. (Engin.), director, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Samokatnaya Str., 4B Moscow, 111033, Russia, 4953624495@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9297-0554>

## Contribution



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

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/09/2023	После редакции 02/11/2023	Принята в печать 20/11/2023
Received 21/09/2023	Accepted in revised 02/11/2023	Accepted 20/11/2023

## «Зеленая» экономика: экологические инновации и экологические продукты



Ирина В. Черемушкина<sup>1</sup> [irinacher2010@yandex.ru](mailto:irinacher2010@yandex.ru)  0000-0002-427-9587  
Ольга В. Осенева<sup>1</sup> [oseneva.olga@yandex.ru](mailto:oseneva.olga@yandex.ru)  0000-0002-0979-2126

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, г. Воронеж, 304036, Россия

**Аннотация.** На сегодняшний день формируется концепция устойчивого развития жизни без ущерба будущим поколениям. Концепция «зеленой» экономики предполагает создание новых экологически чистых отраслей: с позиции государства - увеличение спроса на экологически чистую продукцию, со стороны общества - формирование нового спроса и новой культуры потребления населения. Растущий тренд здорового питания повышает интерес к экологически чистым продуктам, в том числе функциональным продуктам. Наибольшим спросом последнее время пользуются функциональные продукты, в том числе молочнокислые бактерии, витамины, пищевые волокна, биологически значимые элементы и др. Формирующиеся привычки здорового образа жизни и правильного питания заставляют потребителей осуществлять поиск необходимых товаров и услуг, при этом 36% потребителей предпочитают товары отечественных производителей. В ответ на новые потребительские стратегии отечественные производители меняют свой ассортимент: выводят на рынок конкурентные продукты, которые способны удовлетворить требования покупателей. По прогнозам экспертов, рынок здорового питания с каждым годом будут увеличивать объемы и темпы роста, а через 10-20 лет продукты здорового питания будут занимать не менее 30%. Развитие рынка экологически чистой продукции, несмотря на перспективность данного направления и огромный потенциал роста, находится на стадии формирования. Эффективность развития зависит напрямую от таких факторов, как наличие государственной поддержки и роста доходов населения. Государственная экономическая политика должна быть направлена на развитие механизмов поддержки и стимулирования производства экологически чистых продуктов. Внедрение экологически ориентированных инноваций в системы менеджмента организаций приведет к обеспечению рационального природопользования и экологической безопасности страны.

**Ключевые слова:** «зеленая» экономика, экологические инновации, потребительская корзина, экологические продукты, продовольственная безопасность.

## "Green" economy: ecological innovations and ecological products

Irina V. Cheremushkina<sup>1</sup> [irinacher2010@yandex.ru](mailto:irinacher2010@yandex.ru)  0000-0002-427-9587  
Olga V. Oseneva<sup>1</sup> [oseneva.olga@yandex.ru](mailto:oseneva.olga@yandex.ru)  0000-0002-0979-2126

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, 19 Revolution Ave., Voronezh, 304036, Russia

**Abstract.** Today, the concept of sustainable development of life without harm to future generations is being formed. The concept of a "green" economy involves the creation of new environmentally friendly industries: from the position of the state - an increase in demand for environmentally friendly products, from the side of society - the formation of new demand and a new culture of consumption of the population. The growing healthy eating trend is increasing interest in organic products, including functional foods. Recently, functional products have been in greatest demand, including lactic acid bacteria, vitamins, dietary fiber, biologically significant elements, etc. Emerging habits of a healthy lifestyle and proper nutrition force consumers to search for necessary goods and services, while 36% of consumers prefer domestic products manufacturers. In response to new consumer strategies, domestic manufacturers are changing their product range: they are introducing competitive products to the market that can satisfy customer requirements. According to experts, the healthy food market will increase in volume and growth rate every year, and in 10-20 years, healthy food products will account for at least 30%. The development of the market for environmentally friendly products, despite the promise of this area and the huge growth potential, is at the formation stage. The effectiveness of development depends directly on factors such as the availability of government support and income growth. State economic policy should be aimed at developing mechanisms to support and stimulate the production of environmentally friendly products. The introduction of environmentally oriented innovations into the management systems of organizations will lead to ensuring rational environmental management and environmental safety of the country.

**Keywords:** "green" economy, ecological innovations, consumer basket, ecological products, food security

### Введение

Формирование «зеленой» экономики, а также развитие производства и торговли экологически чистой продукцией способствуют решению важнейших задач современного общества: улучшению качества жизни населения, защите окружающей среды, привлечению инвестиций в экологически чистые технологии. Формируется концепция устойчивого развития жизни без ущерба

будущим поколениям. Экспортно-сырьевую модель экономики сменит «зелёная экономика», которая соответствует основным критериям: формирует качественно новое направление развития и экономического роста, а также обеспечивать сохранность окружающей среды.

«Зелёная» экономика – экономика, которая не оказывает воздействия на природу и основана на сохранении ресурсов.

Для цитирования

Черемушкина И.В., Осенева О.В. «Зеленая» экономика: экологические инновации и экологические продукты // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 28–34. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-28-34

For citation

Cheremushkina I.V., Oseneva O.V. "Green" economy: ecological innovations and ecological products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 28–34. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-28-37

Концепция «зеленой» экономики предполагает: с позиции государства – увеличение спроса на экологически чистую продукцию, со стороны общества – формирование нового спроса и новой культуры потребления. Данный «зеленый» подход, возможен за счет развития инновационных экологически чистых технологий, преобладания органического сельскохозяйственного производства, более рационального использования водо- и энергоресурсов, утилизации отходов, что на сегодняшний день служит основанием для инновационных преобразований в России.

### Материалы и методы

Широкое, многозначное и многоцелевое использование термина «экологические инновации» на сегодняшний день ещё формируется. Наряду с термином «экологические инновации» широко используется понятие «зелёные инновации», «инновации окружающей среды» и «сбалансированные (устойчивые) инновации».

На сегодняшний день экологические инновации характеризуются такими технологиями, как: разработка и применение ресурсосберегающих технологий, внедрение новых способов организации производства, создание экологически чистых продуктов. Результатом данных инноваций является экологический, экономический, социальный эффекты. Существуют различные подходы к классификации видов экологических инноваций, по таким критериям, как срок окупаемости, степень воздействия на экосистему, глубину переработки и т. д. Наиболее

значимыми являются: экономический, социальный и экологический (рисунок 1).

Идея «зеленой» экономики заключается в переходе к технологиям, которые используют возобновляемые ресурсы, т. е. осуществляется кардинальная смена технологического уклада производственных процессов. Основное место в развитии общества приобретают экологические ценности и приоритеты. Именно за счет смены технологического уклада в сторону «зеленых» отраслей (технологий) по концепции «зеленой» экономики обеспечивается экономический рост и создаются новые высокотехнологичные места [1, 2]. По мнению экспертов и в соответствии с принятыми на государственном уровне стратегическими документами, только к 2030 г. в мире будет создано более 20 млн новых рабочих мест, непосредственно связанных с «зелеными» отраслями. Создание многофункциональной системы продовольственной безопасности является залогом стабильного существования и процветания страны.

Одним из инструментов «зеленой» экономики является развитие органического сельского хозяйства. Органическое сельское хозяйство развивается в 179 странах, более 2 млн производителей. В России органическое производство составляет 0,2% от мирового рынка, при том, что имеются потенциальные возможности (пахотные земли, большие запасы пресной воды, развитие современных технологий в АПК, рост спроса на эко-товары) и рынок органических продуктов может составить от 10% до 25%.

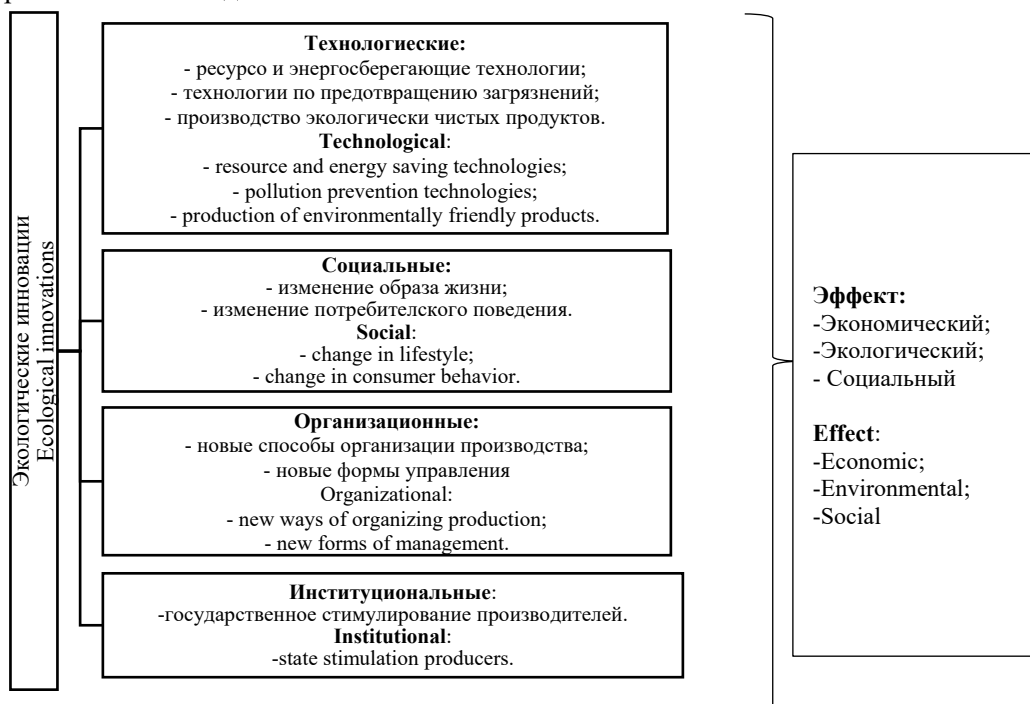


Рисунок 1. Результат применения экологических инноваций  
Figure1. The result of applying environmental innovations

Рост интереса к «зеленым» технологиям наиболее возрос в следствии пандемии 2020 года. Инициативы вроде ESG-критериев (Environmental, Social, and Corporate Governance), характеризующих детальность организаций, их вовлеченность в рамках решения экологических, социальных и экономических вопросов стали наиболее востребованы [3, 4].

Экономический кризис и пандемия трансформировали стратегию потребителей, доминирующим в потребительском поведении стали: растущие требования к качеству и ассортименту продукции (более осознанное потребление), рационализация расходов и комфортные условия при совершении покупок.

Здоровье является главной составляющей богатства общества и национальной безопасности страны. Продукты, которые население приобретает и использует, не сбалансированы по белкам, жирам и углеводам, наблюдается дефицит витаминов, микроэлементов. Снижение реальных доходов усугубило данную ситуацию. Другой проблемой является изменившийся уклад жизни, увеличился объем умственной работы и при этом сформировался малоподвижный образ жизни.

Образ жизни современного человека кардинально изменился, а это повлекло за собой и изменения в организации его питания, что несомненно отразилось на состоянии здоровья. Несбалансированное питание представляет собой определенный фактор риска развития заболеваний.

Растущий тренд здорового питания повышает интерес к экологически чистым продуктам, в том числе функциональным продуктам. Наибольшим спросом последнее время пользуются функциональные продукты, в том числе молочнокислые бактерии, витамины, пищевые

волокна, биологически значимые элементы и др. Формирующиеся привычки здорового образа жизни и правильного питания заставляют потребителей осуществлять поиск необходимых товаров и услуг, при этом 36% потребителей предпочитают товары отечественных производителей.

В ответ на новые потребительские стратегии отечественные производители меняют свой ассортимент: выводят на рынок конкурентные продукты, которые способны удовлетворить требования покупателей. Вопрос обеспечения качественным питанием стоит достаточно остро, так порядка 20% предписаний Россельхознадзора относятся к качеству молочной продукции.

В настоящее время торговые предприятия, в том числе российские делают ставку на эко-органик продукцию, как на новый способ увеличить продажи и более полно удовлетворить запрос на качественные и безопасные для здоровья продукты.

Рацион потребителей меняется, так за последние три года до 65% покупателей снизили потребление сахара, около 70% больше используют свежих овощей и фруктов, более 50% снизили потребление жиров, чуть более 60% отдают предпочтение диетическому питанию [5].

Исследовательский холдинг Ромир, специализирующийся на социально-экономических, маркетинговых исследованиях в рамках всероссийского опроса сформулировал ряд вопросов в отношении к определенным качественным продуктам. В результате опроса было выявлено, что в 2019 г. – 72% россиян считали качественными продукты, не содержащие искусственных красителей и добавок, а в 2022 г. более 85% респондентов подтвердили данное предположение (рисунок 2).

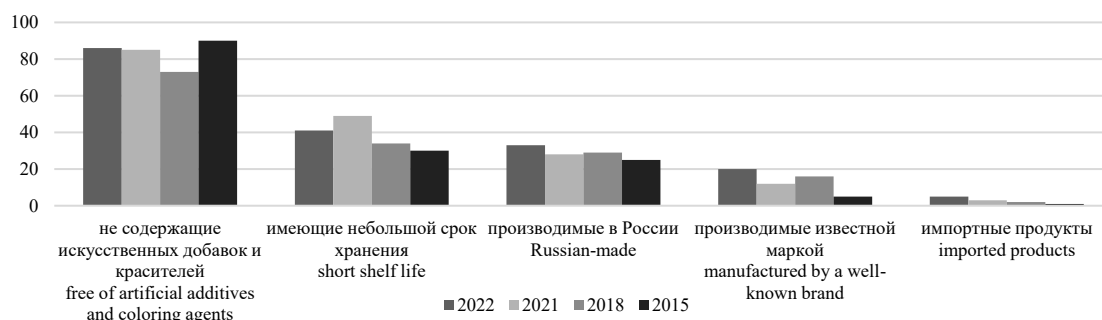


Рисунок 2. Критерии, характеризующих по мнению потребителей качество продуктов, (%) [8].

Figure 2. Criteria characterizing, in the opinion of consumers, the quality of products, (%) [8].

По мнению потребителей с 2015 г. по 2022 г. основным критерием, характеризующим качество продуктов, является отсутствие искусственных добавок и красителей, такого мнения придерживались до 90% респондентов.

Продукты, имеющие небольшой срок хранения характеризуют, как качественные в 2021 году – 49% потребителей, в 2018 г. – 34%, в 2015–30%.

Производство отечественных производителей в 2022 г. предпочитают 33% потребителей и ассоциируют ее как качественную, в 2021 г. данный показатель составлял 28%, в 2018 г. – 29%, в 2015 г. – 25%. Продукты известных производителей являются качественными для 20% опрошенных в 2022 г., 13% в 2021 г., 16% в 2018 году, по сравнению с 2015 г. данный показатель увеличился на 15%. Доля респондентов, считающих «качественный – значит импортный» позиция меняется незначительно и составляет 5%.

Главными критериями выбора того или иного продукта респонденты назвали вкус (89%), низкую цену (87%), наличие акции (83%) и срок годности (82%). По данным НАФИ, указанные критерии в последние годы стали для россиян важнее, чем раньше. Следует подчеркнуть, что одним из основных критериев при совершении покупки является срок годности, ответили в 2022, 2021 гг. более 82% респондентов, в 2015 году данный показатель составлял 80%. (рисунок 3).

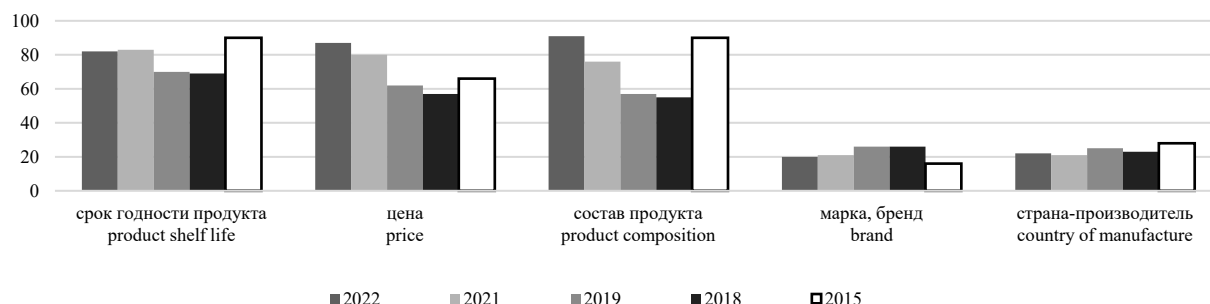


Рисунок 3. Критерии, на которые обращают внимание потребители при выборе и покупке продуктов питания, (%) [8].  
Figure 3. Criteria that consumers pay attention to when choosing and buying food, (%) [8].

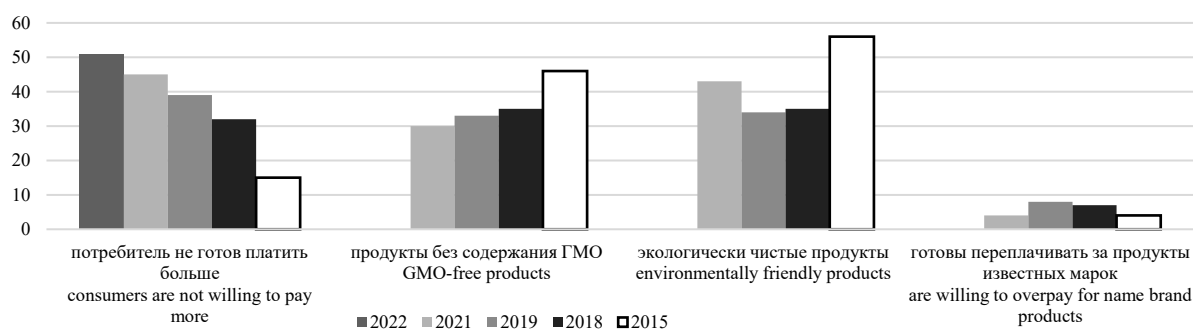


Рисунок 4. Критерии, за которые готовы платить покупатели при выборе продуктов питания, (%) [8].  
Figure 4. Criteria for which buyers are willing to pay when choosing food, (%) [8].

80% опрошенных первоочередным критерием считают цену продукта, в 2015 г. он составлял 66%. Состав продукта в 2021 г. важен для 76% опрошенных, в 2015 г. – 90%. Приверженность определенным маркам снижается, так в 2021 г. составила – 21%, в 2018 гг. была на уровне 26%, в 2015 году составляла 16%.

При этом основой здорового питания для 44% опрошенных являются фермерские продукты, при этом 29% считают, что натуральные продукты найти сложно.

Платить больше за экологически чистые продукты и продукты без ГМО готовы две трети опрошенных. При этом в 2015 г. при опросе было выявлено, что 15% респондентов не готовы переплатить за качественные продукты, в 2021 данный показатель составил 45% и эта цифра неуклонно растет на протяжении последних лет (рисунок 4). В 2015 г. 56% потребителей были готовы потратить больше

на приобретение экологически чистых продуктов, а в 2021 г. этот показатель снизился до 43%. Одним из актуальных трендов является отток внимания покупателей от марки и страны-производителя. За продукты известных и дорогих марок в 2021 г. лишь 4% потребителей готовы переплатить [6, 7].

Формируя спрос на продукцию, обладающую экологическими характеристиками, государство создает стимулы для развития промышленных инноваций, диктует поэтапное внедрение инноваций, выделяет приоритетные направления в деятельности предприятия. «Зеленые» государственные закупки создают спрос, дают важный сигнал рынку инвестировать в производство экологически чистой продукции.

У российских потребителей в целом отсутствует четкое представление о том, что такое «здоровая» («зеленая», органическая, фермерская, экологически чистая, «био» и т. д.) продукция.

Эко продукция более дорогая, а в условиях падения платежеспособного спроса и снижения реально располагаемых доходов населения приобретать такие товары может ограниченное количество потребителей, а это более сильный тренд, чем ЗОЖ.

### Результаты и обсуждение

Товарооборот крупных игроков – продавцов рынка, реализующих экологически чистую продукцию составил: «Азбука вкуса» – 35 млрд р., «Вкусвилл» – 4.9 млрд р., «ЛавкаЛавка» – 102 млн р.,

«Экоферма Коновалово» – 54 млн р., «Первое решение» («Натура Сибиряка» и «бабушка Агафья») – 4 млрд р. В июне 2022 под вывеской «ВкусВилл» работают 1300+ магазинов в 62 городах России. У компании более 120 даркстортов.

Представлена сравнительная характеристика цен на экологически чистую продукцию, реализуемую представителями и продукцию, не обладающую экологическими характеристиками в России (рисунок 5–7) на основе товарных групп повседневного спроса.

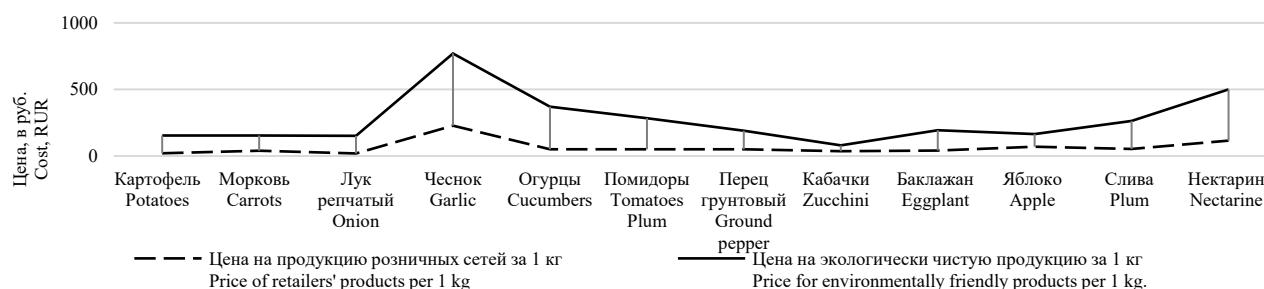


Рисунок 5. Сравнение цен на экологически чистую продукцию и продукцию, не обладающую экологическими характеристиками по товарной группе повседневного спроса – овощи и фрукты

Figure 5. Comparison of prices for environmentally friendly products and products that do not have environmental properties characteristic of the commodity group of everyday consumption – vegetables and fruits

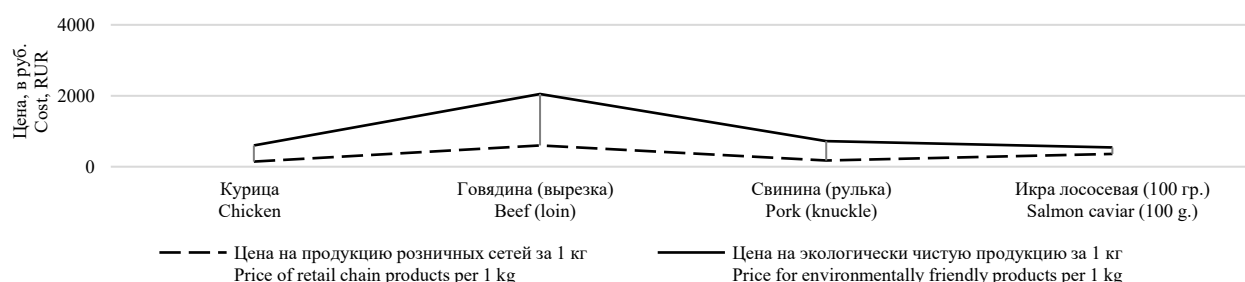


Рисунок 6. Сравнение цен на экологически чистую продукцию и продукцию, не обладающую экологическими характеристиками по товарной группе повседневного спроса – мясо, птица, рыба

Figure 6. Comparison of prices for environmentally friendly products and products that do not have environmental characteristics for the commodity group of everyday demand – meat, poultry, fish

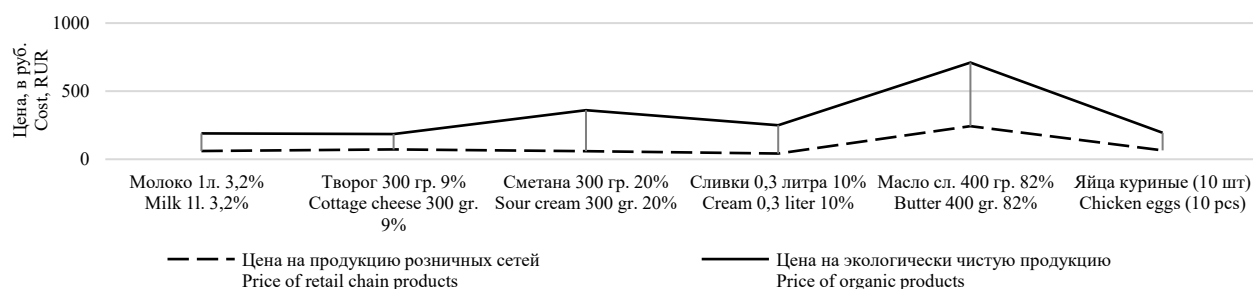


Рисунок 7. Сравнение цен на экологически чистую продукцию и продукцию, не обладающую экологическими характеристиками по товарной группе повседневного спроса – молочные продукты и яйца

Figure 7. Comparison of prices for environmentally friendly products and products that do not have environmental characteristics for the commodity group of everyday demand – dairy products and eggs

В среднем цены на экологически чистые фрукты и овощи различаются в 5 раз по сравнению с базисными. Максимальное повышение цен зафиксировано в 8 раз на лук репчатый (базисная цена – 19 руб., на экологически чистый лук –

152 руб., за 1 кг). Разница в два раза отмечается на яблоки (с 70 руб. до 165 руб., за 1 кг).

Цены на экологически чистую продукцию в категориях: мясо и птица разнятся в 4 раза по сравнению с базисными значениями (стоимость

свинины за 1 кг. – 175 руб., а стоимость экологически чистой свинины за 1 кг. – 720 руб.). Цены на рыбную продукцию отличаются в два раза.

В товарной группе молочные продукты наибольшее изменение цены затронуло такую продукцию, как сметана и сливки – цена разнится в 6 раз, а наименьшее изменение наблюдается на продукт – творог (с 72 руб. до 185 руб., в 2,5 раза).

Все свидетельствует об эффективности представления на маркировке товаров указания «натуральный», «organic», «ЭКО» продукт. Потребитель готов покупать натуральный продукт, чему также способствует рост популярности здорового образа жизни [9–20].

В 2022 году на фоне очередного кризиса усилился рациональный подход потребителей к выбору продуктов питания. Главным трендом в условиях роста цен и снижения доходов по-прежнему остается экономия — за счет как

поиска более дешевых товаров, так и сокращения объема покупок, в первую очередь сокращались покупки товаров в среднем ценовом сегменте.

### Заключение

Развитие рынка экологически чистой продукции, несмотря на перспективность данного направления и огромный потенциал роста, находится на стадии формирования. Эффективность развития зависит напрямую от таких факторов, как наличие государственной поддержки и роста доходов населения.

Государственная экономическая политика должна быть направлена на развитие механизмов поддержки и стимулирования производства экологически чистых продуктов. Внедрение экологически ориентированных инноваций в системы менеджмента организаций приведут к обеспечению рационального природопользования и экологической безопасности страны.

### Литература

- 1 Яшалова Н.Н. Экологические инновации как приоритетное направление «зеленой» экономики // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2012. № 5. С. 72–81.
- 2 Litvinova T.N., Khmeleva G.A., Ermolina L.V., Alferova T.V. Scenarios of business development in the agricultural machinery market under conditions of international trade integration // Contemporary Economics. 2016. V. 10. № 4. P. 323–332.
- 3 Cheremushkina I.V., Apalikhina O.A., Oseneva O.V. Innovation and technological development of the feed industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference «EarthScience». 2020. P. 062052.
- 4 Вукович Н.А «Зеленая» экономика: определение и современная эколого-экономическая модель. // Вестник УрФУ. Серия экономика и управление. 2018. Т. 17. № 1. С. 128–145.
- 5 Черемушкина И.В., Осенева О.В. Прогноз и перспективы формирования потребительских предпочтений в области экологически чистых продуктов на региональном рынке // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 4 (82). С. 171–177.
- 6 Россияне не готовы переплачивать за продукты. URL: <https://romir.ru/studies/rossiyane-ne-gotovy-pereplachivat-za-produkty>
- 7 Россияне стали внимательнее смотреть на состав продуктов. DairyNews.today URL: <https://dairynews.today/news/roskachestvo-rossiyane-stali-vnimatelnee-smotret-n.html?ysclid=lobtrkr4id458891476>
- 8 Ромир, 2015–2022. URL: <https://romir.ru/>
- 9 Гамко Л.Н., Подольников В.Е., Малявко И.В., Нуриев Г.Г. и др. Качественные корма-путь к получению высокой продуктивности животных и птицы и экологически чистой продукции // Зоотехния. 2016. №. 5. С. 6-7.
- 10 Хлопяников А.М., Подольникова Е.М., Хлопяникова Г.В. Инновационные системы аграрного маркетинга для получения экологически чистой продукции // Вестник Брянского государственного университета. 2013. №. 3. С. 161-165.
- 11 Казанцева А.Н. Вопросы разработки и реализации государственной политики в сфере производства и обращения экологически чистой продукции // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. 2018. №. 2 (36). С. 16-20.
- 12 Ляшук Ю.О. Государственное регулирование рынка экологически чистой и органической продукции // Материалы IV Международной научной конференции «Донецкие чтения. 2019. С. 300-303.
- 13 Haws K.L., Winterich K.P., Naylor R.W. Seeing the world through GREEN-tinted glasses: Green consumption values and responses to environmentally friendly products // Journal of consumer psychology. 2014. V. 24. №. 3. P. 336-354. doi: 10.1016/j.jcps.2013.11.002
- 14 Yadav R., Pathak G.S. Young consumers' intention towards buying green products in a developing nation: Extending the theory of planned behavior // Journal of Cleaner Production. 2016. V. 135. P. 732-739. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.06.120
- 15 Yadav R., Pathak G.S. Determinants of consumers' green purchase behavior in a developing nation: Applying and extending the theory of planned behavior // Ecological economics. 2017. V. 134. P. 114-122. doi: 10.1016/j.ecolecon.2016.12.019
- 16 Moser A.K. Thinking green, buying green? Drivers of pro-environmental purchasing behavior // Journal of consumer marketing. 2015. V. 32. №. 3. P. 167-175.
- 17 Gleim M.R., Smith J.S., Andrews D., Cronin Jr J.J. Against the green: A multi-method examination of the barriers to green consumption // Journal of retailing. 2013. V. 89. №. 1. P. 44-61. doi: 10.1016/j.jretai.2012.10.001
- 18 Triguero A., Moreno-Mondéjar L., Davia M.A. Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs // Ecological economics. 2013. V. 92. P. 25-33. doi: 10.1016/j.ecolecon.2013.04.009
- 19 Chen Y.S., Chang C.H. Greenwash and green trust: The mediation effects of green consumer confusion and green perceived risk // Journal of business ethics. 2013. V. 114. P. 489-500.
- 20 Ottman J. The new rules of green marketing: Strategies, tools, and inspiration for sustainable branding. Routledge, 2017.

## References

- 1 Yashalova N.N. Environmental innovations as a priority direction of the “green” economy. Bulletin of UrFU. Economics and management series. 2012. no. 5. pp. 72–81. (in Russian).
- 2 Litvinova T.N., Khmeleva G.A., Ermolina L.V., Alferova T.V. Scenarios of business development in the agricultural machinery market under conditions of international trade integration. Contemporary Economics. 2016. vol. 10. no. 4. pp. 323–332.
- 3 Cheremushkina I.V., Apalikhina O.A., Oseneva O.V. Innovation and technological development of the feed industry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference «EarthScience». 2020. pp. 062052.
- 4 Vukovich N.A. “Green” economy: definition and modern environmental and economic model. Bulletin of UrFU. Economics and management series. 2018. vol. 17. no. 1. pp. 128–145. (in Russian).
- 5 Cheremushkina I.V., Oseneva O.V. Forecast and prospects for the formation of consumer preferences in the field of environmentally friendly products in the regional market. Proceedings of VSUET. 2019. vol. 81. no. 4 (82). pp. 171–177. (in Russian).
- 6 Russians are not ready to overpay for food. Available at: <https://romir.ru/studies/rossiyane-ne-gotovy-pereplachivat-za-produkty> (in Russian).
- 7 Russians began to look more closely at the composition of products. DairyNews.today. Available at: <https://dairynews.today/news/roskachestvo-rossiyane-stali-vnimatelnee-smotret-n.html?ysclid=lobtrkr4id458891476> (in Russian).
- 8 Romir, 2015–2022. Available at: <https://romir.ru/> (in Russian).
- 9 Gamko L.N., Podolnikov V.E., Malyavko I.V., Nuriev G.G. et al. High-quality feed is the way to obtain high productivity of animals and poultry and environmentally friendly products. Zootechniya. 2016. no. 5. pp. 6–7. (in Russian).
- 10 Khlopyanikov A.M., Podolnikova E.M., Khlopyanikova G.V. Innovative systems of agricultural marketing for obtaining environmentally friendly products. Bulletin of Bryansk State University. 2013. no. 3. pp. 161–165. (in Russian).
- 11 Kazantseva A.N. Issues of development and implementation of state policy in the sphere of production and circulation of environmentally friendly products. Theory and practice of service: economics, social sphere, technology. 2018. no. 2 (36). pp. 16–20. (in Russian).
- 12 Lyashchuk Yu.O. State regulation of the market for environmentally friendly and organic products. Materials of the IV International Scientific Conference “Donetsk Readings. 2019. pp. 300–303. (in Russian).
- 13 Haws K.L., Winterich K.P., Naylor R.W. Seeing the world through GREEN-tinted glasses: Green consumption values and responses to environmentally friendly products. Journal of consumer psychology. 2014. vol. 24. no. 3. pp. 336–354. doi: 10.1016/j.jcps.2013.11.002
- 14 Yadav R., Pathak G.S. Young consumers' intention towards buying green products in a developing nation: Extending the theory of planned behavior. Journal of Cleaner Production. 2016. vol. 135. pp. 732–739. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.06.120
- 15 Yadav R., Pathak G.S. Determinants of consumers' green purchase behavior in a developing nation: Applying and extending the theory of planned behavior. Ecological economics. 2017. vol. 134. pp. 114–122. doi: 10.1016/j.ecolecon.2016.12.019
- 16 Moser A.K. Thinking green, buying green? Drivers of pro-environmental purchasing behavior. Journal of consumer marketing. 2015. vol. 32. no. 3. pp. 167–175.
- 17 Gleim M.R., Smith J.S., Andrews D., Cronin Jr J.J. Against the green: A multi-method examination of the barriers to green consumption. Journal of retailing. 2013. vol. 89. no. 1. pp. 44–61. doi: 10.1016/j.jretai.2012.10.001
- 18 Triguero A., Moreno-Mondéjar L., Davia M.A. Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs. Ecological economics. 2013. vol. 92. pp. 25–33. doi: 10.1016/j.ecolecon.2013.04.009
- 19 Chen Y.S., Chang C.H. Greenwash and green trust: The mediation effects of green consumer confusion and green perceived risk. Journal of business ethics. 2013. vol. 114. pp. 489–500.
- 20 Ottman J. The new rules of green marketing: Strategies, tools, and inspiration for sustainable branding. Routledge, 2017.

### Сведения об авторах

**Ирина В. Черемушкина** д.т.н., доцент, зав. кафедрой, кафедра торгового дела и товароведения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, 394036, Россия, [irinacher2010@yandex.ru](mailto:irinacher2010@yandex.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-427-9587>

**Ольга В. Осенева** к.э.н., доцент, кафедра торгового дела и товароведения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, 394036, Россия, [oseneva.olga@yandex.ru](mailto:oseneva.olga@yandex.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-0979-2126>

### Information about authors

**Irina V. Cheremushkina** Dr. Sci. (Engin), associate professor, head of department, trade and commodity department, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19 Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russia, [irinacher2010@yandex.ru](mailto:irinacher2010@yandex.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-427-9587>

**Olga V. Oseneva** Cand. Sci. (Econ.), associate professor, trade and commodity department, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19 Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russia, [oseneva.olga@yandex.ru](mailto:oseneva.olga@yandex.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-0979-2126>

### 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 02/10/2023	После редакции 31/10/2023	Принята в печать 22/11/2023
Received 01/12/2022	Accepted in revised 10/12/2022	Accepted 10/12/2022

## Разработка способа получения майонезного соуса с использованием гидролата мяты перечной




Анастасия В. Терехина <sup>1</sup>	<a href="mailto:gorbatova.nastia@ya.ru">gorbatova.nastia@ya.ru</a>	 0000-0003-4433-9615
Наталья В. Зуева <sup>1</sup>	<a href="mailto:nataspirit30@ya.ru">nataspirit30@ya.ru</a>	 0000-0003-2840-398X
Виктория Н. Ярошева <sup>1</sup>	<a href="mailto:yarosheva02@bk.ru">yarosheva02@bk.ru</a>	 0009-0009-6613-5323

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

**Аннотация.** В качестве натуральных ароматизаторов для майонеза, майонезных соусов, предлагается использовать масляные экстракты и гидролаты пряно-ароматических и эфиромасличных растений, в частности гидролат мяты перечной. Гидролаты содержат активные компоненты, способные повысить биологическую ценность готового продукта. Приведена методика получения гидролата, получали способом отгонки насыщенным водяным паром. Приведена рецептура разработанного соуса. При замене части воды на гидролат, соус обогащается новыми природными биологически активными веществами. В водную фракцию не попадают неполярные алиментарно зависимые вещества, хорошо сохраняется органолептика исходного сырья, а это именно то, что нужно для соуса. Для получения майонезного соуса с гидролатом мяты перечной сухие компоненты соль, стевия, льняная мука и сухое молоко смешивают с водой и гидролатом, в течение 30 мин при 80–85 °С, затем смесь охлаждают до 60–65 °С и добавляют яичный порошок и продолжают перемешивание в течение 3–5 мин, после чего смесь перекачивают в охлаждаемый смеситель и по достижении температуры массы 35–40 °С при работающей мешалке в смеситель подается смесь масел (кукурузное, рыжиковое), а по достижении температуры массы 25–30 °С подача холодной воды в рубашку смесителя прекращается, и в смеситель загружаются молочная кислота. Предложенный способ получения майонезного соуса с гидролатом мяты перечной позволяет реализовывать на предприятиях выпуск продукции с оптимизированным жирнокислотным составом и натуральными вкусо-ароматическими добавками.

**Ключевые слова:** жирнокислотный состав, масляный экстракт, гидролат, майонез, майонезный соус, пряно-ароматические вещества, рыжиковое масло, полиненасыщенные жирные кислоты.

## Development of a method for producing mayonnaise sauce using peppermint hydrolate

Anastasia V. Terekhina <sup>1</sup>	<a href="mailto:gorbatova.nastia@ya.ru">gorbatova.nastia@ya.ru</a>	 0000-0003-4433-9615
Natalia V. Zueva <sup>1</sup>	<a href="mailto:nataspirit30@ya.ru">nataspirit30@ya.ru</a>	 0000-0003-2840-398X
Viktoriya N. Yarosheva <sup>1</sup>	<a href="mailto:yarosheva02@bk.ru">yarosheva02@bk.ru</a>	 0009-0009-6613-5323

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

**Abstract.** As natural flavors for mayonnaise and mayonnaise sauces, it is proposed to use oil extracts and hydrosols of aromatic and essential oil plants, in particular peppermint hydrosol. Hydrolates contain active components that can increase the biological value of the finished product. A method for obtaining hydrolate is presented; it was obtained by distillation with saturated steam. The recipe for the developed sauce is given. By replacing part of the water with hydrolate, the sauce is enriched with new natural biologically active substances. Non-polar nutritionally dependent substances do not enter the water fraction, the organoleptic properties of the raw materials are well preserved, and this is exactly what is needed for the sauce. Production does not require any re-equipment of the production line. To obtain mayonnaise sauce with peppermint hydrolate, dry ingredients salt, stevia, flaxseed flour and dry milk are mixed with water and hydrolate for 30 minutes at 80–85 °C, then the mixture is cooled to 60–65 °C and egg powder is added and mixing continues. for 3–5 minutes, after which the mixture is pumped into a cooled mixer and when the mass temperature reaches 35–40 °C with the mixer running, a mixture of oils (corn, camelina) is fed into the mixer, and when the mass temperature reaches 25–30 °C, cold water is supplied to The mixer jacket is stopped and lactic acid is loaded into the mixer. The proposed method for producing mayonnaise sauce with peppermint hydrolate allows enterprises to produce products with an optimized fatty acid composition and natural flavoring additives.

**Keywords:** fatty acid composition, oil extract, hydrolate, mayonnaise, mayonnaise sauce, spicy-aromatic substances, ginger oil, polyunsaturated fatty acids..

### Введение

В свете современных тенденций увеличения продолжительности жизни и работоспособности профилактика заболеваний является неотложным приоритетом, включающим улучшение состояния питания населения. Потребители обычно используют функциональные и обогащенные продукты питания, чтобы скорректировать свой пищевой

статус. Майонезные соусы являются ценной добавкой к пище, служат обогащенной приправой и повышают пищевую ценность различных блюд [1–6].

Включение майонезных соусов в рацион способствует усвоению оптимальных уровней и количеств ненасыщенных жирных кислот, витаминов, жирорастворимых витаминов (в том числе тех, которые содержатся во фруктах и овощах), пищевых волокон, антиоксидантов

Для цитирования

Терехина А.В., Зуева Н.В., Ярошева В.Н. Разработка способа получения майонезного соуса с использованием гидролата мяты перечной // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 35–40. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-35-40

For citation

Terekhina A.V., Zueva N.V., Yarosheva V.N. Development of a method for producing mayonnaise sauce using peppermint hydrolate. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 35–40. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-35-40

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

или минералов, которые соответствуют нормам план здорового питания. Вместе с этим существует необходимость сохранения пищевых достоинств продуктов питания, касаясь их органолептических характеристик [7–10].

Предложенный нами способ ароматизации майонезной продукции предполагает замену части воды в водной фазе гидролатами ароматических растений.

Для приготовления майонезного соуса использовали гидролат, полученный путем переработки мяты перечной, содержащей в своем составе компоненты, придающие продукции характерный аромат и вкус.

**Цель работы** – разработка способа получения майонезного соуса с использованием гидролата.

### Материалы и методы

Материал исследований – свежесобранное сырье мяты перечной (*Mentha piperita* L.). Гидролат мяты перечной – это слабо опалесцирующая жидкость, содержащая в растворенном состоянии небольшое количество водорастворимых или слаборастворимых компонентов эфирного. Также в состав используемого гидролата вошли другие ценные водорастворимые компоненты: кислоты, биофлавоноиды, витамины.

Гидролат мяты перечной получали методом дистилляции растительного сырья мяты (листья и стебли) на пару при температуре 100 °С, с использованием очищенной воды. При этом вода превращается в пар с последующей конденсацией пара в жидкость (дистиллят). В результате прохождения паров воды через растительный материал мяты перечной, они насыщаются ценными водорастворимыми компонентами, содержащимися в мяте перечной: эфирные масла, кислоты, биофлавоноиды, витамины. Поэтому на первом этапе работы нами была собрана установка для получения гидролатов методом паровой дистилляции (рисунок 1).



Рисунок 1. Установка для получения гидролатов  
Figure 1. Installation for obtaining hydrolates

Для установки нам потребовалось: электрическая плита, два штатива, термостойкая колба, ёмкость для слива, холодильник, стеклянная трубка, аллонж. Данная установка оказалась простой и удобной в использовании.

Методика получения гидролата в лабораторных условиях следующая. Сырье помещается в круглодонную колбу с холодильником и заливается дистиллированной водой при гидромоде 1:2. Смесь нагревают до кипения и продолжают процесс в режиме кипения в течение 1,5 часа. Пары летучих ароматических веществ и воды конденсируются в холодильнике и поступают в приемник.

Майонезный соус получали на лабораторном гомогенизаторе, частота вращения рабочего органа которого составляет 3000 с<sup>-1</sup>.

### Результаты и обсуждение

Майонезные соусы, включают в себя смесь растительных масел кукурузного и рыжикового, белковую эмульгирующую композицию, стабилизатор, соль, сахар-песок, сухое обезжиренное молоко (СОМ), яичный компонент в виде яичного порошка, в качестве стабилизационной системы – льняная мука, молочная кислота, гидролат мяты перечной, питьевую воду при следующих соотношениях, % масс.: масло кукурузное 21%; масло рыжиковое 14%; мука льняная 2–3%; СОМ 10%; соль 0,5%; сахар-песок 0,8%; яичный порошок 1%; молочная кислота 1%; гидролат 35%; вода (остальное) до 100%.

При замене части воды на гидролат, соус обогащается новыми природными биологически активными веществами. В водную фракцию не попадают неполярные алиментарно зависимые вещества, хорошо сохраняется органолептика исходного сырья, а это именно то, что нужно для соуса.

Для получения майонезного соуса с гидролатом мяты перечной (рисунок 2) сухие компоненты соль, стевия, льняная мука и сухое молоко смешивают с водой и гидролатом, в течение 30 мин, затем смесь охлаждают и добавляют яичный порошок и продолжают перемешивание в течение 3–5 мин, после чего смесь перекачивают в охлаждаемый смеситель и по достижении температуры массы 35–40 °С при работающей мешалке в смеситель подается смесь масел (кукурузное, рыжиковое), а по достижении температуры массы 25–30 °С подача холодной воды в рубашку смесителя прекращается, и в смеситель добавляется молочная кислота.

Процесс гомогенизации проводится до получения гомогенной эмульсии. Возможен однократный проход грубой эмульсии. По окончании гомогенизации готовый майонезный соус охлаждается до температуры 15–25 °С. Из емкости для готовой продукции майонез подают на фасование. Фасовка планируется в стоячие пакеты дой-пак, массой нетто 200 г.

Получается стойкий густой гомогенный сметанообразный продукт. Вкус – насыщенный, с явным привкусом и легким оттенком запаха конкретной пряности (а именно перечной мяты) без излишней остроты.

При составе рецептуры майонезного соуса с гидролатом мяты перечной был подобран жирнокислотный состав относительно рекомендаций для продуктов здорового питания.

Рассчитанный жирнокислотный состав представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Жирнокислотный состав майонезного соуса с гидролатом перечной мяты

Table 1.

Fatty acid composition of mayonnaise sauce with peppermint hydrolate

Жирная кислота Fatty acid	Майонезный соус Mayonnaise sauce
C 14:0	0,0602
C 16:0	7,783
C 16:1	0,1098
C 17:0	0,0184
C 17:1	0,0128
C 18:0	2,523
C 18:1	25,9286
C 18:2	40,302
C 20:0	0,86
C 18:3	13,232
C 20:1	6,063
C 20:2	0,7152
C 22:0	0,337
C 22:1	1,0644
C 20:3	0,466
C 20:4	0,0748
C 24:0	0,208
C 24:1	0,2436

Результаты расчета жирнокислотного состава доказывают, что в предлагаемом майонезном соусе с гидролатом мяты перечной достигнуто соотношение жирных кислот групп  $\omega$ -3: $\omega$ -6 = 1:3, что рекомендовано для функциональных жировых продуктов.

С целью изучения влияния гидролата мяты перечной на вкусовые качества проводилась органолептическая оценка майонезного соуса, выработанного по предлагаемой рецептуре.

Органолептические показатели определяют в следующей последовательности: консистенция, внешний вид, цвет, запах, вкус.

При определении внешнего вида и цвета пробу майонеза массой не менее 30 г. помещают в стеклянный стакан. Стакан устанавливают на листе белой бумаги и рассматривают при рассеянном дневном свете, определяя внешний вид, цвет и отмечая отсутствие или наличие посторонних включений.

При определении запаха и вкуса майонез предварительно перемешивают шпателем. При определении вкуса количество продукта должно быть достаточным для распределения по всей полости рта (3–10 г). Майонез держат во рту 5–10 с, не проглатывая, затем удаляют.

Интенсивность каждого дескриптора определяли с помощью 5-балльной шкалы: 1 – признак отсутствие; 2 – слабая интенсивность; 3 – умеренная; 4 – сильная; 5 – очень сильная.

Балльную оценку интенсивности дескрипторов рассчитывали, как среднее значение из оценок дегустаторов.

На рисунке 3 представлены профилограммы запаха и вкуса двух образцов майонеза. Первый изготовлен по рассчитанной рецептуре с внесением воды, во второй часть воды заменена гидролатом. Оценивались выраженность следующих вкусов: 1 – кислый; 2 – острый; 3 – соленый; 4 – сладкий; 5 – горький; 6 – пряный; 7 – молочный; 8 – посторонний привкус. Как видно из рисунка, представленные образцы получили достаточно высокие оценки. Следует отметить, что образец с гидролатом, имеет другой вкус.

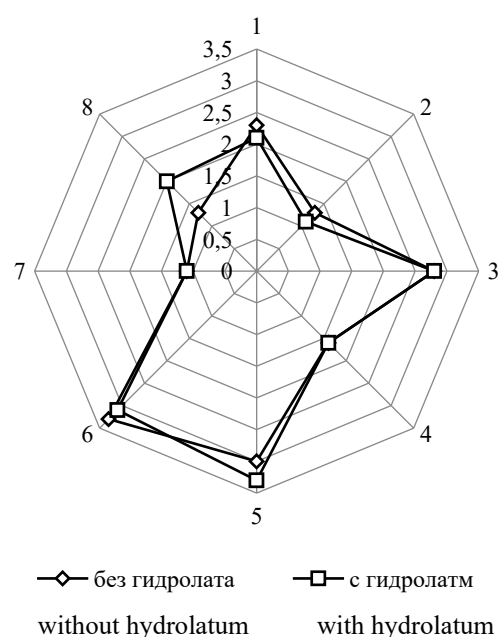


Рисунок 2. Профилограммы запаха и вкуса разработанного майонезного соуса

Figure 2. Profilograms of the smell and taste of the developed mayonnaise sauce

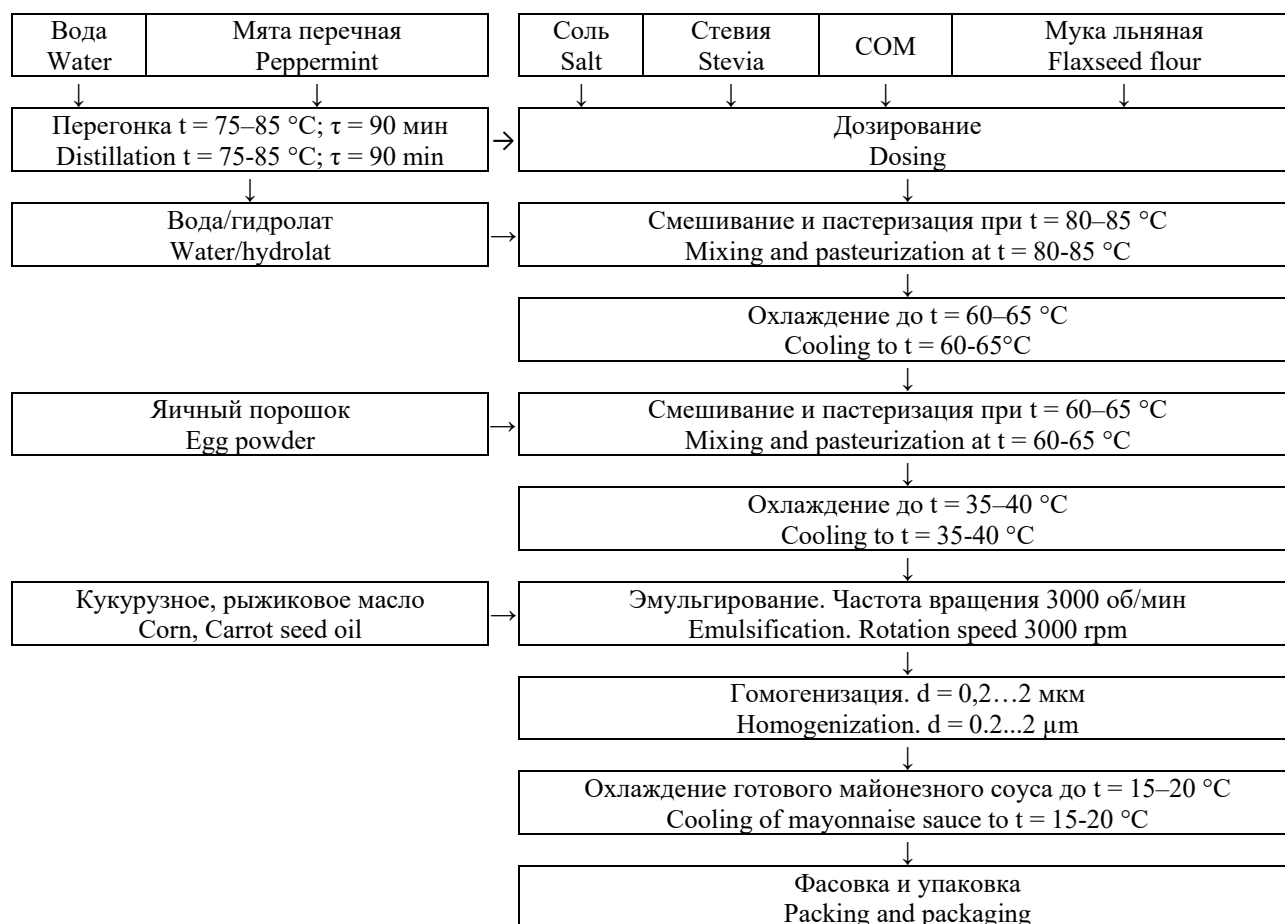


Рисунок 3. Технологическая схема производства майонезного соуса

Figure 3. Technological scheme of mayonnaise sauce

### Заключение

Предложенный способ получения майонезного соуса с гидролатом мяты перечной позволяет реализовывать на предприятиях выпуск продукции с оптимизированным жирнокислотным составом и натуральными вкусоароматическими добавками.

Анализ жирнокислотного состава майонезного соуса свидетельствует об оптимальном соотношении групп жирных кислот,  $\omega$ -3: $\omega$ -6 = 1:3, что рекомендовано для функциональных продуктов.

Таким образом, в результате работы разработан способ получения функционального майонезного соуса с использованием гидролата мяты перечной, который имеет улучшенные вкусоароматические характеристики.

### Литература

- 1 Górka-Warsewicz H., Rejman K., Laskowski W., Czebotko M. Butter, Margarine, Vegetable Oils, and Olive Oil in the Average Polish Diet // *Nutrients*. 2019. V. 11. № 12. P. 2935. doi: 10.3390/nu11122935
- 2 Marangoni A.G., van Duynhoven J.P.M., Acevedo N.C., Nicholson R.A. et al. Advances in our understanding of the structure and functionality of edible fats and fat mimetics // *Soft Matter*. 2020. V. 16. № 2. P. 289–306. doi: 10.1039/c9sm01704f
- 3 Shahidi F., Ambigaipalan P. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Their Health Benefits // *Annu Rev Food Sci Technol*. 2018. V. 9. P. 345–381. doi: 10.1146/annurev-food-111317-095850
- 4 Elagizi A., Lavie C.J., O'Keefe E., Marshall K. et al. An Update on Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Cardiovascular Health // *Nutrients*. 2021. V. 13. № 1. P. 204. doi: 10.3390/nu13010204
- 5 Гербер К.В., Глумова Н.В., Данилова И.Л., Подколотная Ю.В. Технологические особенности переработки эфиромасличного сырья для получения гидролатов и натуральных душистых вод // Сб. тезисов участников III научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского» АБиП. Симферополь, 2017. Т. 1.
- 6 Колногоров К.П., Ламоткин С.А., Башарова А.О., Ильина Г.Н. Новые функциональные пищевые масложировые продукты со сбалансированным жирнокислотным составом // *Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология*. 2016. № 4(186). С. 188–194.
- 7 Пат. № 2524076, RU, A23L 1/24. Соус майонезного типа с льняной мукой "Будь здоров" / Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Зубцов В.А.; заявитель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии). № 2013109883/13; Заявл. 05.03.2013; Опубл. 27.07.2014.

- 8 Manayi A., Saeidnia S., Shekarchi M., Hadjiakhoondi A. et al. Comparative study of the essential oil and hydrolate composition of *Lythrum salicaria* L. obtained by hydrodistillation and microwave distillation methods // Research Journal of Pharmacognosy. 2014. V. 1. №. 2.
- 9 Ohtsu N., Kohari Y., Goton M., Yamada R. et al. Utilization of the Japanese Peppermint Herbal Water Byproduct of Steam Distillation as an Antimicrobial Agent // Journal of Oleo Science. 2018. V. 67. №. 10.
- 10 Терехина А.В., Копылов М.В., Желтоухова Е.Ю., Болгова И.Н. Исследование влияния новых ингредиентов на стойкость майонезной эмульсии с функциональными свойствами // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: сборник научных статей и докладов X Международной научно-технической конференции. Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2022.
- 11 Панина Е.В., Сорокина И.А., Исаев Е.А. Разработка рецептуры майонезного соуса с ламинарией // Инновационные аспекты технологий производства, экспертизы качества и безопасности сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов. 2019. С. 303-306.
- 12 Калашникова С.В., Курчаева Е.Е., Тertychnaya T.N. Разработка рецептурно-компонентных решений получения пищевых продуктов на основе растительных ресурсов // Социально-экономические проблемы продовольственной безопасности: реальность и перспектива. 2017. С. 311-315.
- 13 Mirzanajafi-Zanjani M., Yousefi M., Ehsani A. Challenges and approaches for production of a healthy and functional mayonnaise sauce // Food science & nutrition. 2019. V. 7. №. 8. P. 2471-2484. doi: 10.1002/fsn3.1132
- 14 Syromyatnikov M.Y., Kiryanova S.V., Popov V.N. Development and validation of a TaqMan RT-PCR method for identification of mayonnaise spoilage yeast *Pichia kudriavzevii* // AMB Express. 2018. V. 8. №. 1. P. 1-9.
- 15 Zaouadi N., Cheknane B., Hady-Sadok A., Canselier J. P. et al. Formulation and optimization by experimental design of low-fat mayonnaise based on soy lecithin and whey // Journal of Dispersion Science and Technology. 2015. V. 36. №. 1. P. 94-102. doi: 10.1080/01932691.2014.883572
- 16 Mozafari H.R., Hosseini E., Hojjatoleslami M., Mohebbi G.H. et al. Optimization low-fat and low cholesterol mayonnaise production by central composite design // Journal of food science and technology. 2017. V. 54. P. 591-600.
- 17 Aganovic K., Bindrich U., Heinz V. Ultra-high pressure homogenisation process for production of reduced fat mayonnaise with similar rheological characteristics as its full fat counterpart // Innovative food science & emerging technologies. 2018. V. 45. P. 208-214. doi: 10.1016/j.ifset.2017.10.013
- 18 Amin M.H.H., Elbeltagy A.E., Mustafa M., Khalil A.H. Development of low fat mayonnaise containing different types and levels of hydrocolloid gum // Journal of Agroalimentary Processes and Technologies. 2014. V. 20. №. 1. P. 54-63.
- 19 Ghirro L.C., Rezende S., Ribeiro A.S., Rodrigues N. et al. Pickering emulsions stabilized with curcumin-based solid dispersion particles as mayonnaise-like food sauce alternatives // Molecules. 2022. V. 27. №. 4. P. 1250.
- 20 Fernandes S.S., Mellado M.M.S. Development of mayonnaise with substitution of oil or egg yolk by the addition of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage // Journal of food science. 2018. V. 83. №. 1. P. 74-83. doi: 10.1111/1750-3841.13984


## References

- 1 Górska-Warsewicz H., Rejman K., Laskowski W., Cieczotko M. Butter, Margarine, Vegetable Oils, and Olive Oil in the Average Polish Diet. Nutrients. 2019. vol. 11. no. 12. pp. 2935. doi: 10.3390/nu11122935
- 2 Marangoni A.G., van Duynhoven J.P.M., Acevedo N.C., Nicholson R.A. et al. Advances in our understanding of the structure and functionality of edible fats and fat mimetics. Soft Matter. 2020. vol. 16. no. 2. pp. 289-306. doi: 10.1039/c9sm01704f
- 3 Shahidi F., Ambigaipalan P. Omega 3 Polyunsaturated Fatty Acids and Their Health Benefits. Annu Rev Food Sci Technol. 2018. vol. 9. pp. 345-381. doi: 10.1146/annurev-food-111317-095850
- 4 Elagizi A., Lavie C.J., O'Keefe E., Marshall K. et al. An Update on Omega 3 Polyunsaturated Fatty Acids and Cardiovascular Health. Nutrients. 2021. vol. 13. no. 1. pp. 204. doi: 10.3390/nu13010204
- 5 Gerber K.V., Glumova N.V., Danilova I.L., Podkolodnaya Yu.V. Technological features of processing essential oil raw materials to obtain hydrolates and natural fragrant waters. Collection of articles. abstracts of the participants of the 3rd scientific-practical conference of teaching staff, graduate students, students and young scientists "Days of Science of KFU named after IN AND. Vernadsky" ABiP. Simferopol, 2017. vol. 1. (in Russian).
- 6 Kolnogorov K.P., Lamotkin S.A., Basharova A.O., Ilyina G.N. New functional food fat and oil products with a balanced fatty acid composition. Proceedings of BSTU. Chemistry, technology of organic substances and biotechnology. 2016. no. 4(186). pp. 188-194. (in Russian).
- 7 Minevich I.E., Osipova L.L., Zubtsov V.A. Mayonnaise-type sauce with flaxseed flour "Be Healthy". Patent RF, no. 2524076, 2014.
- 8 Manayi A., Saeidnia S., Shekarchi M., Hadjiakhoondi A. et al. Comparative study of the essential oil and hydrolate composition of *Lythrum salicaria* L. obtained by hydrodistillation and microwave distillation methods. Research Journal of Pharmacognosy. 2014. vol. 1. no. 2.
- 9 Ohtsu N., Kohari Y., Goton M., Yamada R. et al. Utilization of the Japanese Peppermint Herbal Water Byproduct of Steam Distillation as an Antimicrobial Agent. Journal of Oleo Science. 2018. vol. 67. no. 10.
- 10 Teryokhina A.V., Kopylov M.V., Zheltoukhova E.Yu., Bolgova I.N. Study of the influence of new ingredients on the stability of mayonnaise emulsion with functional properties. New in the technology and technology of functional food products based on medical and biological views: a collection of scientific articles and reports of the X International Scientific and Technical Conference. Voronezh State University of Engineering Technologies, 2022. (in Russian).
- 11 Pанина Е.В., Сорокина И.А., Исаев Е.А. Development of a recipe for mayonnaise sauce with kelp. Innovative aspects of production technologies, examination of the quality and safety of agricultural raw materials and food products. 2019. pp. 303-306. (in Russian).
- 12 Kalashnikova S.V., Kurchaeva E.E., Tertychnaya T.N. Development of recipe-component solutions for obtaining food products based on plant resources. Socio-economic problems of food security: reality and prospects. 2017. pp. 311-315. (in Russian).


- 13 Mirzanajafi-Zanjani M., Yousefi M., Ehsani A. Challenges and approaches for production of a healthy and functional mayonnaise sauce. *Food science & nutrition*. 2019. vol. 7. no. 8. pp. 2471-2484. doi: 10.1002/fsn3.1132
- 14 Syromyatnikov M.Y., Kiryanova S.V., Popov V.N. Development and validation of a TaqMan RT-PCR method for identification of mayonnaise spoilage yeast *Pichia kudriavzevii*. *AMB Express*. 2018. vol. 8. no. 1. pp. 1-9.
- 15 Zaouadi N., Cheknane B., Hadj-Sadok A., Canselier J.P. et al. Formulation and optimization by experimental design of low-fat mayonnaise based on soy lecithin and whey. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2015. vol. 36. no. 1. pp. 94-102. doi: 10.1080/01932691.2014.883572
- 16 Mozafari H.R., Hosseini E., Hojjatoleslami M., Mohebbi G.H. et al. Optimization low-fat and low cholesterol mayonnaise production by central composite design. *Journal of food science and technology*. 2017. vol. 54. pp. 591-600.
- 17 Aganovic K., Bindrich U., Heinz V. Ultra-high pressure homogenisation process for production of reduced fat mayonnaise with similar rheological characteristics as its full fat counterpart. *Innovative food science & emerging technologies*. 2018. vol. 45. pp. 208-214. doi: 10.1016/j.ifset.2017.10.013
- 18 Amin M.H.N., Elbeltagy A.E., Mustafa M., Khalil A.H. Development of low fat mayonnaise containing different types and levels of hydrocolloid gum. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2014. vol. 20. no. 1. pp. 54-63.
- 19 Ghirro L.C., Rezende S., Ribeiro A.S., Rodrigues N. et al. Pickering emulsions stabilized with curcumin-based solid dispersion particles as mayonnaise-like food sauce alternatives. *Molecules*. 2022. vol. 27. no. 4. pp. 1250.
- 20 Fernandes S.S., Mellado M.M.S. Development of mayonnaise with substitution of oil or egg yolk by the addition of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage. *Journal of food science*. 2018. vol. 83. no. 1. pp. 74-83. doi: 10.1111/1750-3841.13984

#### Сведения об авторах


**Анастасия В. Терёхина** к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gorbato.nastia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

**Наталья В. Зуева** доцент, кафедра броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nataspirt30@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>

**Виктория Н. Ярошева** студент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yarosheva02@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-6613-5323>

#### Вклад авторов

**Анастасия В. Терёхина** консультация в ходе исследования, предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания

**Наталья В. Зуева** консультация в ходе исследования


**Виктория Н. Ярошева** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

#### Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors


**Anastasia V. Terekhina** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gorbato.nastia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

**Natalia V. Zueva** associate professor, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nataspirt30@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>

**Viktoriya N. Yarosheva** student, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yarosheva02@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-6613-5323>

#### Contribution

**Anastasia V. Terekhina** consultation during the research, proposed the methodology of the experiment and organized production tests

**Natalia V. Zueva** consultation during the study







**Viktoriya N. Yarosheva** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/09/2023	После редакции 01/11/2023	Принята в печать 24/11/2023
Received 29/09/2023	Accepted in revised 01/11/2023	Accepted 24/11/2023

## Особенности химического состава и технологические свойства молока коров с учетом линейной принадлежности

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
Евгений С. Артемов	<sup>2</sup>	<a href="mailto:evgeartemov@ya.ru">evgeartemov@ya.ru</a>	 0000-0001-6159-842X
Оксана А. Сергеева	<sup>2</sup>	<a href="mailto:oksanasergeeva2017@ya.ru">oksanasergeeva2017@ya.ru</a>	 0000-0003-3183-9143
Александр В. Востроилов	<sup>2</sup>	<a href="mailto:kaftchz.veterin@mail.ru">kaftchz.veterin@mail.ru</a>	 0000-0003-1626-5735
Татьяна В. Чернышева	<sup>2</sup>	<a href="mailto:dauphinka@ya.ru">dauphinka@ya.ru</a>	 0000-0003-2648-5520







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

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

**Аннотация.** Молочная промышленность является самым быстрорастущим сектором животноводства и к 2030 году, производство молока, по прогнозам, увеличится в среднем на 22%. На молочную продуктивность и технологические свойства молока оказывает большое влияние генетический потенциал коров, который во многом обуславливает используемые для производства стада быки-производители. В данной работе изучена молочная продуктивность и качество молока коров красно-пестрой породы. Красно-пестрая порода молочного скота – это генетически молодая популяция, и на современном этапе совершенствования стоит задача наследственной консолидации племенных, продуктивных качеств животных по признакам, отвечающим требованиям и направлению продуктивности породы. Для изучения генетического потенциала молочной продуктивности быков-производителей, используемых в хозяйстве, и продуктивности их дочерей использовались данные племенного учета – программа «СЕЛЭКС». Для исследований качества и технологических свойств молока были сформированы три группы коров разного происхождения: линий, Рефлекшн Соверинг 198998, Вис Бэк Айдал 1013415 и Монтвик Чифтейн 95679. Молочную продуктивность учитывали еженедельно по результатам контрольных доек, в течение 305 дней лактации. Наилучшие качественные показатели выявлены в молоке коров от быков-производителей линии Вис Бэк Айдал. Отмечается, что содержание сухого вещества в молоке коров – первотелок Вис Бэк Айдал составило 12,15%, что несколько превышает данный показатель в молоке животных Рефлекшн Соверинг. Аналогичная тенденция прослеживалась по жиру и содержанию казеина. В связи с чем, быки этой линии могут являться улучшателями по содержанию жира и белка в молоке. Молоко коров линии Вис Бэк Айдал обладало высокой способностью к сычужному свертыванию (время свертывания 9 мин 21 сек). Важным показателем, отражающим качество получаемого молока является число содержащихся в молоке соматических клеток. Установлено, что наименьшее количество соматических клеток в молоке выявлено у коров линии Вис Бэк Айдал. Таким образом, количество соматических клеток в молоке можно использовать в качестве критерия при оценке безопасности и сыропригодности молока с целью получения высококачественных молочных продуктов.

**Ключевые слова:** красно-пестрая порода, молочная продуктивность, свойства молока, сычужная свертываемость, казеин.

## Features of the chemical composition and technological properties of cow's milk, taking into account the linear affiliation

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
Evgeny S. Artemov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:evgeartemov@ya.ru">evgeartemov@ya.ru</a>	 0000-0001-6159-842X
Oksana A. Sergeeva	<sup>2</sup>	<a href="mailto:oksanasergeeva2017@ya.ru">oksanasergeeva2017@ya.ru</a>	 0000-0003-3183-9143
Alexander V. Vostroiлов	<sup>2</sup>	<a href="mailto:kaftchz.veterin@mail.ru">kaftchz.veterin@mail.ru</a>	 0000-0003-1626-5735
Tatiana V. Chernysheva	<sup>2</sup>	<a href="mailto:dauphinka@ya.ru">dauphinka@ya.ru</a>	 0000-0003-2648-5520

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

<sup>2</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina str., 1, Voronezh, 394087, Russia

**Abstract.** The dairy industry is the fastest growing livestock sector and by 2030, milk production is projected to increase by an average of 22%. Milk productivity and technological properties of milk are greatly influenced by the genetic potential of cows, which is largely determined by the producing bulls used for the production of the herd. In this work, the milk productivity and milk quality of red-mottled cows were studied. The red-mottled breed of dairy cattle is a genetically young population, and at the present stage of improvement there is a task of hereditary consolidation of breeding, productive qualities of animals according to the characteristics that meet the requirements and the direction of productivity of the breed. To study the genetic potential of the dairy productivity of breeding bulls used on the farm and the productivity of their daughters, data from breeding records - the SELEX program - were used. To study the quality and technological properties of milk, three groups of cows of different origins were formed: lines, Reflection Sovering 198998, Vis Back Ideal 1013415 and Montvik Chieftain 95679. Milk productivity was taken into account every week according to the results of control milking, during 305 days of lactation. The best quality indicators were found in the milk of cows from bulls-producers of the Vis Back Ideal line. It is noted that the dry matter content in the milk of first-calf cows Vis Back Ideal was 12.15%, which is slightly higher than this indicator in the milk of animals Reflection Sovering. A similar trend was observed in fat and casein content. In this connection, bulls of this line can be improvers in terms of fat and protein content in milk. Milk of cows of the Vis Back Ideal line had a high ability to rennet (coagulation time 9 min 21 sec). An important indicator reflecting the quality of the milk obtained is the number of somatic cells contained in milk. It was found that the smallest number of somatic cells in milk was detected in cows of the Vis Back Ideal line. Thus, the number of somatic cells in milk can be used as a criterion for assessing the safety and cheese suitability of milk in order to obtain high-quality dairy products.

**Keywords:** red-mottled breed, milk productivity, properties of milk, rennet coagulability, casein.

### Для цитирования

Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Артемов Е.С., Сергеева О.А., Востроилов А.В., Чернышева Т.В. Особенности химического состава и технологические свойства молока коров с учетом линейной принадлежности // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 41–48. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-41-48

### For citation

Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Artemov E.S., Sergeeva O.A., Vostroiлов A.V., Chernysheva T.V. Features of the chemical composition and technological properties of cow's milk, taking into account the linear affiliation. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 41–48. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-41-48

## Введение

Повышенное внимание к молочной продуктивности современных молочных коров связано в первую очередь со снижением их продолжительности продуктивной жизни (долголетия), снижением плодовитости и вероятностью возникновения заболеваний, влияющих на процессы лактации. Увеличение продолжительности жизни снижает инвестиционные затраты, связанные с выращиванием полностью продуктивных телок. При этом короткий срок жизни стада приводит к увеличению затрат на замену в результате ограниченного потенциала отбора телок-заменителей на ферме. Снижение плодовитости коров является основным фактором, способствующим снижению продолжительности дней лактации и продолжительности жизни.

Красно-пестрая порода молочного скота – это генетически молодая популяция, и на современном этапе совершенствования стоит задача наследственной консолидации племенных, продуктивных качеств животных по признакам, отвечающим требованиям и направлению продуктивности породы [4]. Изучение генетического потенциала быков-производителей красно-пестрой породы, результатов их использования является актуальной проблемой, так как это необходимо для выработки стратегии развития отрасли. Увеличение поголовья крупного рогатого скота красно-пестрой породы происходит ежегодно, в последние годы удельный вес в Воронежской области составил более 75%.

Одним из важнейших продуктов питания для человека является молоко, ценность данного продукта питания обусловлена его химическим составом и свойствами отдельных компонентов. Важным моментом является включение молока и молочных продуктов в рацион человека для повышения его биологической ценности и усвояемости. На состав и свойства молока влияние оказывают различные факторы, такие как: порода, возраст, период лактации, сезон года, рацион кормления, величина молочной продуктивности, упитанность животных, условия содержания.

Также важным фактором, определяющим продуктивность животных и качество молока, является породная принадлежность. Известно, что у пород коров молочного направления таких как: голландская, черно-пестрая, голштинская, холмогорская, красная степная, содержание жира в молоке колеблется в пределах от 3,6 до 3,7%. У пород молочно-мясного направления таких как: симментальская, швицкая, костромская, содержание жира варьирует от 3,8 до 3,9%. У пород мясного направления продуктивности таких как: калмыкская, казахская белоголовая,

гернефорд содержится 4–4,5% жира. Известно то, что лишь джерсейская и гернзейская породы являются самыми жирномолочными, при этом в среднем содержание жира в молоке достигает 5,5–6,0%, но часто встречаются коровы с содержанием жира 6,5–8,0%. Цель исследований состояла в сравнительном изучении влияния быков-производителей разных линий на продуктивность и качество молока дочерей красно-пестрой породы воронежского типа.

## Материалы и методы

Научные исследования проведены в ПЗ ООО «Большевик» Хохольского района (с. Староникольское) Воронежской области на коровах красно-пестрой породы, являющихся дочерьми быков-производителей красно-пестрой породы: линий Вис Бэк Айдал 1013415, Рефлексн Соверинг 198998 и Монтвик Чифтейн 95679. Для изучения генетического потенциала молочной продуктивности быков-производителей, используемых в хозяйстве, а также для анализа продуктивности их дочерей (удой, массовая доля жира и белка) использовались данные племенного учета (программа «СЕЛЭКС»).

Для исследований качества и технологических свойств молока были сформированы три группы коров по 15 голов в каждой, с использованием метода пар-аналогов, при этом учитывали возраст, месяц лактации и живую массу коров.

Кормление двукратное с использованием монокарма. Расчет рационов производился с использованием программы «Bestmix».

Все подопытные коровы содержались в хозяйстве на одном отделении привязным способом, доение осуществлялось в молокопровод. Показатели молочной продуктивности и развития коров-дочерей устанавливались из данных первичного племенного учёта. Пробы молока для определения физико-химических свойств отбирали по одной от каждой подопытной коровы утром и вечером, средние пробы отправляли в лабораторию контроля качества молока.

Молочную продуктивность учитывали еженедельно по результатам контрольных доек, в течение 305 дней лактации. Пробы молока для лабораторных анализов отбирались еженедельно во время контрольных доек. Лабораторные исследования проводились на кафедре «Частной зоотехнии» Воронежского ГАУ с использованием стандартных и общепринятых методик.

## Результаты

Одной из главных задач в области молочного скотоводства является получение качественного молока с высокими технологическими свойствами. Молочная продуктивность коров и

качество получаемого молока во многом зависят от генетического потенциала стада.

Многочисленные исследования показывают, что дочери быков разных линий отличаются друг от друга по продуктивности и другим хозяйственно-полезным признакам [6–8, 11]. В этой связи возникает необходимость всестороннего исследования качества молока, получаемого от коров красно – пестрой породы, принадлежащих к различным линиям, и его технологических свойств. Глубокое сравнительное изучение данной проблемы в конкретных хозяйственных условиях повысит обоснованность подбора для воспроизводства стада быков с наилучшими наследственными характеристиками по молочной продуктивности.

Рядом автором доказана, подтверждающая зависимость продуктивности от внешних показателей животного [9, 10]. В основном желательна крепкая конституция, именно такие животные способны заложить генетическую основу для выполнения промышленных задач отрасли молочного скотоводства. Используемые в наших исследованиях коровы-первотёлки имели выраженный молочный тип, развитое вымя, крепкий тип конституции.

В условиях хозяйства сверхважно обеспечение критериев, отвечающих требованиям получения высокой молочной продуктивности. Животные должны в процессе роста получать необходимое питание, набирать массу тела соответственно возрасту. Установлено, что животные с высокой живой массой соответственно обладают

также более высоким показателем удоя, а в молоке упитанных животных содержится больше белков и жиров.

Для исследований была взята выборка коров-первотёлок в количестве 15 голов, дочерей каждого из 3 линий производителей. Данные по живой массе, удою за 305 дней лактации представлены в таблице 1.

Сравнительные данные по молочной продуктивности у коров-дочерей быков разных 3 линий представлены в таблице 2.

В таблице 3 представлен химический состав молока коров – первотелок на 3-м месяце лактации.

Была проведена оценка аминокислотного состава средних проб молока коров первотелок (таблица 4). Определение содержания сырого протеина выполняли методом Кьельдаля.

### Обсуждение

Молочная продуктивность, а также состав молока в отношении белка и жира являются основными определяющими факторами пригодности молочной продукции для потребления населением и удовлетворения продовольственных нужд людей. Также именно молочная продуктивность – фактор, по которому есть возможность сравнить быков-производителей, а вернее молоко, полученное от их дочерей. Молочная продуктивность напрямую зависит от условий выращивания и содержания животных, является основным показателем в скотоводстве, характеризующим его целесообразность.

Таблица 1.

Данные живой массы и удоя по дочерям быков различной линейной принадлежности

Table 1.

Live weight and milk yield data on the daughters of bulls of various linear affiliation

Линия   Line	Живая масса, кг Live weight, kg	Удой за 305 дней лактации Milk yield for 305 days of lactation
Рефлекшен Соверинг   Reflection Sovering	555,00 ± 2,18	7339,33 ± 289,56
Вис бэк Айдиал   Vis back Idial	521,87 ± 3,32	7504,87 ± 257,50
Монтвик Чифтейн   Montwick Chieftain	537,13 ± 3,54	6989,07 ± 186,08

Таблица 2.

Молочная продуктивность подопытных животных

Table 2.

Milk productivity of experimental animals

Показатель   Indicator	Группа   Group		
	I	II	III
Количество коров, голов   Number of cows, heads	15	15	15
Удой за 305 дней лактации, кг   Milk yield for 305 days of lactation, kg	7339,33 ± 289,59	7504,87 ± 257,50	6989,07 ± 3,54
Массовая доля жира в молоке, %   Mass fraction of fat in milk, %	3,99 ± 0,04	4,00 ± 0,05	4,10 ± 0,04
Количество молочного жира, кг за 305 дней лактации   Amount of milk fat, kg for 305 days of lactation	293,13 ± 12,20	300,6 ± 11,36	286,65 ± 7,42
Массовая доля белка в молоке, %   Mass fraction of protein in milk, %	3,34 ± 0,02	3,38 ± 0,02	3,35 ± 0,02
Количество белка, кг за 305 дней лактации Amount of protein, kg for 305 days of lactation	244,85 ± 8,93	249,87 ± 8,37	235,47 ± 5,85
Коэффициент молочности, %   The coefficient of milk content, %	1322 ± 3,13	1438 ± 10,01	1301 ± 10,44

I – Рефлекшен Соверинг 198998; II – Вис Бэк Айдиал 1013415; III – Монтвик Чифтейн 95679; I – Reflection Sovering 198998; II – Vis Back Idial 1013415; III – Montwick Chieftain 95679

Таблица 3.

Химический состав молока коров-первотелок на 3-м месяце лактации

Table 3.

Chemical composition of milk of first-calf cows at the 3rd month of lactation

Показатель   Indicator	Группа   Group		
	I	II	III
Массовая доля сухого вещества, %   Mass fraction of dry matter, %	12,06 ± 0,28	12,15 ± 0,20	11,91 ± 0,15
Массовая доля жира, %   Mass fraction of fat, %	3,99 ± 0,04	4,00 ± 0,05	3,86 ± 0,04
СОМО, %   SOMO, %	8,07 ± 0,24	8,15 ± 0,15	8,05 ± 0,11
Массовая доля белка, %   Mass fraction of protein, %	3,37 ± 0,02	3,38 ± 0,02	3,27 ± 0,02
Казеин, %   Casein, %	2,14 ± 0,01	2,39 ± 0,05	2,35 ± 0,05
Сывороточные белки, %   whey proteins, %	0,96 ± 0,07	0,92 ± 0,08	0,92 ± 0,08
Лактоза, %   Lactose, %	4,45 ± 0,03	4,66 ± 0,06	4,10 ± 0,06
Зола, %   Ash, %	0,62 ± 0,14	0,68 ± 0,20	0,68 ± 0,20

Таблица 4.

Содержание аминокислот в белке молока коров разных групп

Table 4.

The content of amino acids in the milk protein of cows of different groups

Аминокислоты, масс% Amino acids, mass%	Группа   Group		
	I	II	III
Лизин   Lysine	0,279	0,282	0,280
Метионин   Methionine	0,230	0,230	0,226
Треонин   Threonine	0,088	0,089	0,083
Валин   Valin	0,172	0,173	0,160
Изолейцин   Isoleucine	0,233	0,238	0,231
Лейцин   Leucine	0,218	0,232	0,215
Фенилаланин   Phenylalanine	0,226	0,230	0,201
Триптофан   Tryptophan	0,070	0,081	0,076
Гистидин   Histidine	0,066	0,068	0,054
Аргинин   Arginine	0,077	0,080	0,06
Аспарагиновая кислота   Aspartic acid	0,184	0,163	0,158
Серин   Serin	0,181	0,181	0,175
Глутаминовая кислота   Glutamic acid	1,055	1,062	1,086
Глицин   Glycine	0,056	0,060	0,055
Аланин   Alanin	0,077	0,055	0,056
Тирозин   Tyrosine	0,157	0,160	0,155
Всего   Total	3,369	3,384	3,271

Таблица 5.

Технологические свойства молока

Table 5.

Technological properties of milk

Показатель   Indicator	Группа   Group		
	I	II	III
Сычужная свертываемость, мин. сек Rennet coagulability, min. sec	13, 28	9, 21	12, 29
Термоустойчивость, группа Thermal stability, group	1	1	1
Сычужно бродильная проба, класс Rennet fermentation sample, class	2	2	2
Соматические клетки в 1 см <sup>3</sup> , тыс. Somatic cells in 1 cm <sup>3</sup> , thousand.	93,3	91,9	101,5

Уровень молочной продуктивности и состав молока определяются многими факторами, в том числе оптимальной интенсивностью роста и развития. Доказано, что коровы с высокой живой массой отличаются большей молочностью [1–3].

Удой коров – первотелок 2 группы (Вис Бэк Айдиал) составил 7505 кг, что на 166 кг или 2,26% больше по сравнению с 1 группой подопытных животных и на 516 кг или 7,38% (таблица 1) 3 группы молочных коров. Коэффициент молочности коров 2 группы составил 1438, что на 8,77% выше относительно коров 1 группы и на 10,53% выше 3 группы. Количество молочного жира и белка за лактацию также было получено больше от коров 2 группы.

Из полученных результатов исследования (таблица 2) видно, что наилучшей молочной продуктивностью обладает молоко от дочерей быка линии Вис бэк Айдиал.

Содержание сухого вещества в молоке коров – первотелок опытной группы II составило 12,15%, что несколько превышает данный показатель в молоке животных I группы (таблица 3). Аналогичная тенденция прослеживалась по жиру и содержанию казеина.

Результаты сравнительного изучения особенностей содержания аминокислот в молоке и соотношения незаменимых и заменимых аминокислот красно-пестрых коров Воронежского типа исследуемых групп различных линий приведены в таблице 4.

При изучении аминокислотного состава молока коров красно-пестрой породы Воронежского типа установлен более высокий массовый процент аминокислот в молоке коров II группы (Вис Бэк Айдиал), в частности по лизину, изолейцину, триптофану и тирозину.

Как известно [14], молоко состоит из двух основных групп белков: казеинов и сывороточных белков. Казеин присутствует в виде

коллоидных агрегатов и выпадает в осадок при pH и температурных условиях 4,6 и 20 °C. Сывороточные белки, остаются растворимыми в этом состоянии, что является первым и ярким признаком их различия.

Казеины представляют собой группу из четырех генных продуктов ( $\alpha_1$ -,  $\alpha_2$ -,  $\beta$ - и  $\kappa$ -казеин) и демонстрируют выраженную микрогетерогенность вследствие генетической изменчивости, а также фосфорилирования и посттрансляционного гликозилирования.

Соотношение казеина к сывороточному протеину составляет около 80:20, при этом  $\beta$ -казеин составляет ~ 33–45% от общего количества казеинов. В свою очередь  $\beta$ -казеин присутствует в виде двенадцати генетических вариантов: A1, A2, A3, B, C, D, E, F, G, H, I, H2 и I. Однако A1 и A2 являются наиболее охарактеризованными и изученными. Благодаря возможной пользе для здоровья, A2  $\beta$ -казеин приобретает все большее значение.

Нами исследован процесс сычужного свертывания средних проб полученного молока. Внесение в молоко коагулянта вызывает изменение мицелл белка: макропептиды отделяются от казеина и переходят в водную фазу (сыворотку), а мицеллы казеина связываются между собой благодаря присутствию ионов кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Таким образом, и формируется сгусток.

Сычужное свертывание молока (сычужная коагуляция) – наиболее важный процесс при производстве сыра.

Более 95% казеина в молоке находится в форме сферических мицелл (частиц, каждая из которых содержит тысячи молекул  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\kappa$ -казеинов). Мицеллы казеина состоят из субмицелл. Они удерживаются в составе мицелл коллоидным фосфатом кальция (КФК), который вместе с органическим казеинатом кальция, образует казеинаткальцийфосфатный комплекс (ККФК). Гидрофобные участки  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\kappa$ -казеинов погружены внутрь субмицелл, образуя неполярное ядро. Полярные фосфосерильные группы  $\alpha$ -,  $\beta$ - казеинов и гидрофильный гликомакропептид (МП)  $\kappa$ -казеина окружают ядро, образуя защитный слой и обеспечивая стабильность мицелл в растворе.

В соответствии с гидролитической теорией под действием молока свертывающего фермента происходит гидролиз пептидной связи фенилаланин (105) – метионин (106) в полипептидных цепях  $\chi$ -казеина ККФК, в результате чего молекулы  $\chi$ -казеина распадаются на гидрофобный пара- $\chi$ -казеин и гидрофильный гликомакропептид (рисунок 1).

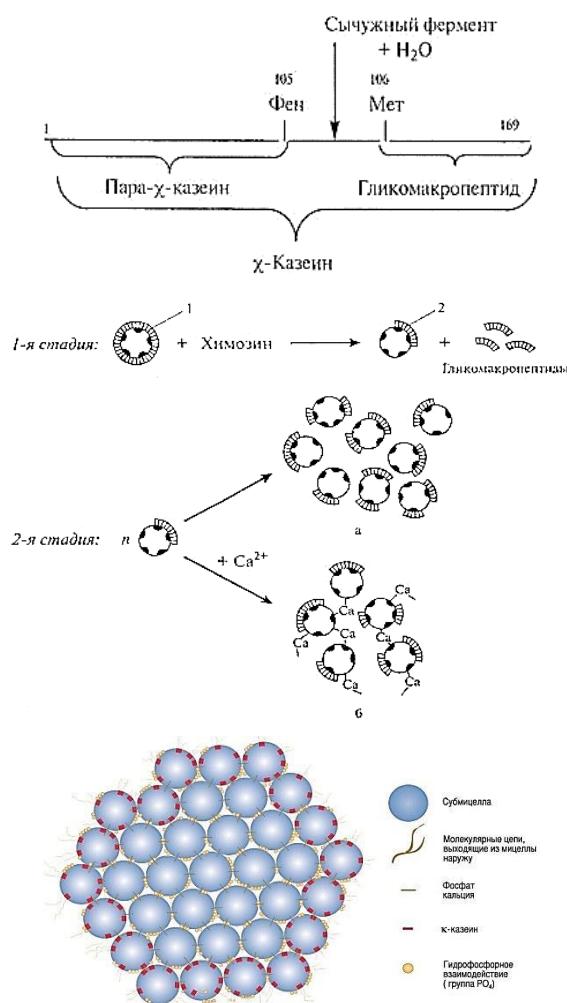


Рисунок 1. Схема ферментативной стадии сычужного свертывания молока: а – коагуляция мицелл под действием сил гидрофобного взаимодействия; б – коагуляция мицелл за счет кальциевых мостиков; 1 – нативные казеиновые мицеллы; 2 – параказеиновые мицеллы

Figure 1. Diagram of the enzymatic stage of the rapid coagulation of milk: a – coagulation of micelles under the action of hydrophobic interaction forces; b – coagulation of micelles due to calcium bridges; 1 – native casein micelles; 2 – paracasein micelles

Отщепление от мицелл гликомакропептида, обладающего высоким отрицательным зарядом и гидрофильными свойствами, приводит к потере устойчивости казеиновых мицелл (снижает заряд мицеллы в два раза, вызывает разрушение большей части гидратной оболочки, ликвидирует ворсистый внешний слой мицелл. В результате, силы электростатического отталкивания между частицами уменьшаются, пространственные факторы стабилизации мицелл ослабевают, что приводит к потере устойчивости казеиновых мицелл). Сущность неэнзиматической фазы состоит в агрегации дестабилизированных мицелл пара- $\kappa$ -казеина за счет сил гидрофобного взаимодействия или посредством «кальциевых

мостиков», образующихся в результате присоединения ионов кальция к серинфосфатным группам  $\alpha$ - и  $\beta$ -казеина двух или более сближенных параказеиновых мицелл [4]. При этом мицеллы параказеина собираются в агрегаты, цепочки, которые соединяются продольными и поперечными связями, образуя единую трехмерную сетку – сгусток (происходит гелеобразование). В ячейках сетки заключена дисперсионная среда, содержащая жировые шарики и сыворотку [6].

Следует отметить, что молоко коров II группы имело время свертывания 9 мин 21 сек (таблица 5), сырье с такими свойствами является пригодным для производства творога и сыров.

Важным показателем, отражающим качество получаемого молока является число содержащихся в молоке соматических клеток. Данный показатель отражает безопасность получаемого молока и состояние здоровья животных [5, 12, 13].

Заболевания коров, как известно, изменяют состав молока, и такое молоко согласно существующему ветеринарному законодательству не должно использоваться при производстве пищевых продуктов. Наибольшую опасность для качества молока представляют маститы молочных коров.

Мастит в молочном стаде, как известно снижает надои молока и оказывает пагубное влияние на состав молока и его технологические свойства, в том числе сычужную свертываемость. Если клинический мастит проявляется видимыми изменениями молочной железы и молока, то субклинические маститы не имеют видимых признаков. Они диагностируются по увеличению в молоке количества соматических клеток.

При заболеваниях животных маститами в молоке снижается содержание сухих веществ, жира, белка и лактозы, т. е. всех его основных

компонентов. Такое молоко также имеет пониженную кислотность и плохо свертывается сычужным ферментом, а высокое содержание в нем хлоридов ухудшает синергизм образовавшегося сгустка.

Рядом исследователей установлена взаимосвязь молочной продуктивности от количества соматических клеток [14–20]. При этом минимальное количество соматических клеток отмечается у животных с низкой продуктивностью, и с повышением продуктивности данный показатель имеет тенденцию к увеличению. Нами установлено, что при удое 7500 кг (II группа, линия Вис Бэк Айдиал) за полную лактацию число соматических клеток составляло 91,9 тыс/мл, при удое 6990 (Монтвик Чифтейн) кг находилось на уровне 101,1 тыс/мл. Таким образом, количество соматических клеток в молоке можно использовать в качестве критерия при оценке безопасности и сыропригодности молока с целью получения высококачественных молочных продуктов.

### Заключение

Полученные результаты исследований молока коров различной линейной принадлежности показали, что технологические свойства молока коров, имеют некоторые различия. Наиболее высокой молочной продуктивностью, а также жиром – и белкомолочностью, а также лучшими технологическими свойствами, в том числе сычужной свертываемостью обладает молоко коров линии Вис Бэк Айдиал, что открывает перспективы использования в сыроделии.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективу ООО «Большевик» за ценные замечания и проведение ряда исследований.

### Литература

- 1 Bhat Z.F., Bhat H. Milk and dairy products as functional foods // *International Journal of Dairy Science*. 2011. V. 6. P. 1–12. doi: 10.3923/ijds.2011.1.12
- 2 Frossling J., Ohlson A., Hallen-Sandgren C., Frossling J. Incidence and duration of increased somatic cell count in Swedish dairy cows and associations with milking system type // *Journal of Dairy Science*. 2017. V. 100. №. 9. P. 7368–7378.
- 3 Sharma N., Singh N.K., Bhadwal M.S. Relationship of Somatic Cell Count and Mastitis: An Overview // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2011. V. 24. №. 3. P. 429–438.
- 4 Бабкова Н.М., Бодрова С.В., Мурадян Н.А. Сравнительная оценка молочной продуктивности коров красно-пестрой породы разных линий в АО «Тубинск» // *Вестник КрасГАУ*. 2016. № 1. С. 141–145.
- 5 Гудзь В.П., Белявский В.Н. Соматические клетки и их влияние на качество и технологические свойства молока (обзор) // *Экология и животный мир*. 2019. № 1. С. 49–53.
- 6 Заболотнов Л.А., Кузнецов С.Г., Баранова И.А., Матющенко П.В. Качество молока коров. Физико-химические и технологические свойства // *Витасоль*. URL: <http://www.vitasol.ru/wp-content/uploads/2014/05/Kachestvo-moloka.pdf>
- 7 Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Артемов Е.С. и др. Качество молока красно-пестрой породы и перспективы его использования в производстве мягких сыров комбинированного состава // *Вестник ВГУИТ*. 2021. Т. 83. № 4(90). С. 117–125. doi: 10.20914/2310-1202-2021-4-117-125
- 8 Коноров В.П., Громова Т.В. Влияние линейной принадлежности на молочную продуктивность, химический состав и технологические свойства молока коров симментальской породы // *Аграрная наука, образование, производство: актуальные вопросы*. 2014. С. 47–50.

- 9 Илларионова Е.Е., Кручинин А.Г., Туровская С.Н., Бигаева А.В. Методы оценки свертываемости белков молока в системе прогнозирования технологических свойств // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 503–519. doi: 10.21603/2074-9414-2021-3-503-519
- 10 Востроилов А.В., Артемов Е.С., Курчаева Е.Е., Баженова Е.В. Молочная продуктивность, химический состав и технологические свойства молока коров красно-пестрой породы // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2021. № 1(16). С. 71–77.
- 11 Хачкаева Э.И., Тлейншева М.Г., Вологирова Ф.А., Тарчоков Т.Т. Продуктивные особенности коров красно-пестрой породы различной заводской принадлежности // Научные известия. 2018. №. 12. С. 15–19.
- 12 Фомина П. Определение соматических клеток в сыром молоке // Переработка молока. 2023. № 2(280). С. 39–41.
- 13 Гафаров Ф.А., Ибатуллина Л.А., Гафарова Ф.М., Лутфрахманова Д.У. Характеристика коров разного возраста по содержанию в молоке соматических клеток // Аграрная наука: поиск, проблемы, решения: материалы международной научно-практической конференции. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2015. Т. 1. С. 259–261.
- 14 Уткина О.С., Ачкасова Е.В. Качество и технологические свойства молока коров разного происхождения // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 1(73). С. 29–35. doi: 10.48012/1817-5457\_2023\_1\_29-35
- 15 Foroutan A., Guo A.C., Vazquez-Fresno R., Lipfert M. et al. Chemical composition of commercial cow's milk // Journal of agricultural and food chemistry. 2019. V. 67. №. 17. P. 4897-4914.
- 16 Rafiq S., Huma N., Pasha I., Sameen A. et al. Chemical composition, nitrogen fractions and amino acids profile of milk from different animal species // Asian-Australasian journal of animal sciences. 2016. V. 29. №. 7. P. 1022. doi: 10.5713/ajas.15.0452
- 17 Gomes J.J.L., Duarte A.M., Batista A.S.M., de Figueiredo R.M.F. et al. Physicochemical and sensory properties of fermented dairy beverages made with goat's milk, cow's milk and a mixture of the two milks // LWT-Food Science and Technology. 2013. V. 54. №. 1. P. 18-24. doi: 10.1016/j.lwt.2013.04.022
- 18 Yerlikaya O. Probiotic potential and biochemical and technological properties of *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* strains isolated from raw milk and kefir grains // Journal of dairy science. 2019. V. 102. №. 1. P. 124-134. doi: 10.3168/jds.2018-14983
- 19 Contarini G., Povo M. Phospholipids in milk fat: composition, biological and technological significance, and analytical strategies // International Journal of Molecular Sciences. 2013. V. 14. №. 2. P. 2808-2831.
- 20 Kislyakova E., Berezkina G., Vorobyeva S., Kokonov S. et al. Influence of using seeds of flax and raps in cow rates on the quality of milk and dairy products // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019. V. 25. №. 1.

## References

- 1 Bhat Z.F., Bhat H. Milk and dairy products as functional foods. International Journal of Dairy Science. 2011. vol. 6. pp. 1–12. doi: 10.3923/ijds.2011.1.12
- 2 Frossling J., Ohlson A., Hallen-Sandgren C., Frossling J. Incidence and duration of increased somatic cell count in Swedish dairy cows and associations with milking system type. Journal of Dairy Science. 2017. vol. 100. no. 9. pp. 7368–7378.
- 3 Sharma N., Singh N.K., Bhadwal M.S. Relationship of Somatic Cell Count and Mastitis: An Overview. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2011. vol. 24. №. 3. pp. 429–438.
- 4 Babkova N.M., Bodrova S.V., Muradyan N.A. Comparative assessment of the milk productivity of red-motley cows of different lines in JSC “Tubinsk”. Bulletin of KrasGAU. 2016. no. 1. pp. 141–145. (in Russian).
- 5 Gudzh V.P., Belyavsky V.N. Somatic cells and their influence on the quality and technological properties of milk (review). Ecology and animal world. 2019. no. 1. pp. 49–53. (in Russian).
- 6 Zabolotnov L.A., Kuznetsov S.G., Baranova I.A., Matyushchenko P.V. Quality of cows' milk. Physico-chemical and technological properties. Vitasol. Available at: <http://www.vitasol.ru/wp-content/uploads/2014/05/Kachestvo-moloka.pdf> (in Russian).
- 7 Derkanosova A.A., Kurchaeva E.E., Artemov E.S. and others. The quality of milk of the red-motley breed and the prospects for its use in the production of soft cheeses of a combined composition. Proceedings of VSUET. 2021. vol. 83. no. 4(90). pp. 117–125. doi: 10.20914/2310-1202-2021-4-117-125 (in Russian).
- 8 Konorev V.P., Gromova T.V. The influence of linear affiliation on milk productivity, chemical composition and technological properties of milk from Simmental cows. Agricultural science, education, production: current issues. 2014. pp. 47–50. (in Russian).
- 9 Illarionova E.E., Kruchinin A.G., Turovskaya S.N., Bigaeva A.V. Methods for assessing the coagulability of milk proteins in a system for predicting technological properties. Equipment and technology of food production. 2021. vol. 51. no. 3. pp. 503–519. doi: 10.21603/2074-9414-2021-3-503-519 (in Russian).
- 10 Vostroilov A.V., Artemov E.S., Kurchaeva E.E., Bazhenova E.V. Milk productivity, chemical composition and technological properties of milk from red-motley cows. Technologies and merchandising of agricultural products. 2021. no. 1(16). pp. 71–77. (in Russian).
- 11 Khachkaeva E.I., Tleinsheva M.G., Vologirova F.A., Tarchokov T.T. Productive characteristics of red-motley cows of various breeding origins. Scientific news. 2018. no. 12. pp. 15–19. (in Russian).
- 12 Fomina P. Determination of somatic cells in raw milk. Milk processing. 2023. no. 2(280). pp. 39–41. (in Russian).
- 13 Gafarov F.A., Ibatullina L.A., Gafarova F.M., Lutfrakmanova D.U. Characteristics of cows of different ages according to the content of somatic cells in milk. Agricultural science: search, problems, solutions: materials of the international scientific and practical conference. Volgograd, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Volgograd State Agrarian University, 2015. vol. 1. pp. 259–261. (in Russian).
- 14 Utkina O.S., Achkasova E.V. Quality and technological properties of milk from cows of different origins. Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. 2023. no. 1(73). pp. 29–35. doi: 10.48012/1817-5457\_2023\_1\_29-35 (in Russian).
- 15 Foroutan A., Guo A.C., Vazquez-Fresno R., Lipfert M. et al. Chemical composition of commercial cow's milk. Journal of agricultural and food chemistry. 2019. vol. 67. no. 17. pp. 4897-4914.
- 16 Rafiq S., Huma N., Pasha I., Sameen A. et al. Chemical composition, nitrogen fractions and amino acids profile of milk from different animal species. Asian-Australasian journal of animal sciences. 2016. vol. 29. no. 7. pp. 1022. doi: 10.5713/ajas.15.0452

17 Gomes J.J.L., Duarte A.M., Batista A.S.M., de Figueiredo R.M.F. et al. Physicochemical and sensory properties of fermented dairy beverages made with goat's milk, cow's milk and a mixture of the two milks. *LWT-Food Science and Technology*. 2013. vol. 54. no. 1. pp. 18-24. doi: 10.1016/j.lwt.2013.04.022


18 Yerlikaya O. Probiotic potential and biochemical and technological properties of *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* strains isolated from raw milk and kefir grains. *Journal of dairy science*. 2019. vol. 102. no. 1. pp. 124-134. doi: 10.3168/jds.2018-14983

19 Contarini G., Povo M. Phospholipids in milk fat: composition, biological and technological significance, and analytical strategies. *International Journal of Molecular Sciences*. 2013. vol. 14. no. 2. pp. 2808-2831.


20 Kislyakova E., Berezkina G., Vorobyeva S., Kokonov S. et al. Influence of using seeds of flax and raps in cow rates on the quality of milk and dairy products. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. vol. 25. no. 1.

#### 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, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, alena.kurchaeva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5958-0909>


**Евгений С. Артемьев** к.с.-х.н., заведующий кафедрой, кафедра общей зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, evgeartemov@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6159-842X>


**Оксана А. Сергеева** к.т.н. доцент, кафедра товароведения и экспертизы товаров, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, oksanasergeeva2017@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3183-9143>

**Александр В. Востроиллов** д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, kaftchz.veterin@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1626-5735>

**Татьяна В. Чернышева** ассистент, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, улица Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, dauphinka@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2648-5520>

#### 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>


**Evgeny S. Artemov** Cand. Sci. (Agric.), head of the department, general animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, 394036, Russia, evgeartemov@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6159-842X>


**Oksana A. Sergeeva** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, commodity science and examination of goods department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, oksanasergeeva2017@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3183-9143>

**Alexander V. Vostroilov** Dr. Sci. (Agric.), professor, head of the department, private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, kaftchz.veterin@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1626-5735>

**Tatiana V. Chernysheva** assistant, private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, dauphinka@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2648-5520>

#### 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 10/10/2023	После редакции 08/11/2023	Принята в печать 01/12/2023
Received 10/10/2023	Accepted in revised 08/11/2023	Accepted 01/12/2023

## Investigating The Consumer Properties Of Potato Cultivars

Anna T. Vasyukova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:vasyukova-at@ya.ru">vasyukova-at@ya.ru</a>	 0000-0002-7374-4145
Aleksey I. Belenkov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:osavoskina@rgau-msha.ru">osavoskina@rgau-msha.ru</a>	 0000-0003-0422-4936
Michail A. Mazirov	<sup>3</sup>	<a href="mailto:belenokaleksis@mail.ru">belenokaleksis@mail.ru</a>	 0000-0003-8152-1021
Olga A. Savoskina	<sup>3</sup>	<a href="mailto:zavertkin@rgau-msha.ru">zavertkin@rgau-msha.ru</a>	 0000-0002-1568-0364
Igor A. Zavertkin	<sup>3</sup>	<a href="mailto:zavertkin@rgau-msha.ru">zavertkin@rgau-msha.ru</a>	 0000-0002-8152-1021
Aleksandr V. Moshkin	<sup>4</sup>	<a href="mailto:aldahaev@gmail.com">aldahaev@gmail.com</a>	 0000-0001-5607-0364

<sup>1</sup> Russian Biotechnological University, 11, Volokolamskoye Shosse, Moscow, 125080, Russia

<sup>2</sup> Federal Scientific Center for Fodder Production and Agroecology named after V.R. Williams, st. Nauchniy Gorodok, 1g, Lobnya-5, Moscow region, 141055 Russia

<sup>3</sup> Russian State Agrarian University - K.A. Timiryazev MSHA, st. Timiryazevskaya, 49. Moscow 127550, Russia

<sup>4</sup> LLC "DoorHan", New street. 120, building 1 Akulovo village, Odintsovo, Moscow region, 143002

**Abstract.** Currently, public catering establishments use technologies that do not provide for the varietal division of vegetables, in particular potatoes. This leads to excessive waste during cleaning and significant losses of nutritional value when preparing culinary products. Quick-cooking potato varieties, together with varieties of long-term processing in one culinary product, lead to the fact that half of the products are cooked, while the other half remains raw during the same time, or with longer processing. The paper considers the potato cultivars of various starch concentration grown in the central part of the country. The aim of the study is to determine the outcome of the product and the consumer properties of different potato cultivars. The objects of the investigation were the following potato cultivars: *POT6* (I reproduction), *POT4* (elite), *POT5* (II reproduction), *POT8* (II reproduction), *POT3* (elite), *POT12* (I reproduction), *POT7* (elite), *POT9* (middle early-season) and *POT1* (early-season). It has been determined that *POT5*, *POT4* and *POT3* are the biggest in size (75-85 mm), but *POT6* is the smallest (35 mm). But such cultivars as *POT8*, *POT5* and *POT12* are the largest in weigh (106-126 g), while *POT1* and *POT7* are the lightest (72 and 76 g, respectively). The potato cultivars such as *POT4* (8.33%), *POT12* (8.49%) and *POT6* (9.1%) gave the minimum of wastes when peeling. As the investigation was carried out in April, the total amount of wastes was 5 times less if compared to the Standards of wastes and losses of food processing. It specifies the long shelflife period

**Keywords:** potato, nutritional value, consumer properties, shelf life, cultivar description.

### Introduction

The provision of the population with high-quality food products should be carried out on the basis of new technologies, rational use of raw materials, mechanization of labor-intensive technological operations, high consumer properties and sanitary and epidemiological safety of the final product. In the technically developed countries, potato products are sold to the population, as a rule, in the form of semi-finished products of varying degrees of readiness, requiring simple technological methods with minimal labor costs. The efficiency of the applied technologies is due to the high quality of the products and the ultimate utilization of raw materials. At present, plant breeders have grown about 4,000 varieties of potatoes, and this work continues [1, 8-15].

Potato is one of the most important plant foods. In the world production of plant food, potatoes occupy the fourth place and are cultivated in more than 130 countries of the world, the annual potato harvest is about 300 million tons. The Russian Federation accounts for more than 10% of the world gross potato production [3, 16-22].

A decrease in the share of the production of commercial potatoes leads to a decrease in the commercial quality and competitiveness of domestic potatoes. In addition, due to the constant increase in electricity prices, the actual volumes of potato processing turned out to be significantly lower than it had been expected. In this regard, the amount of potato losses at all stages of its movement to the consumer in the next period of time will not change significantly. Therefore, the problem of reducing losses and preserving consumer properties is of great importance.

To successfully solve this problem, we need to formulate the consumer properties of potatoes at the growing stage and create all the necessary conditions for their preservation in the process of transportation, storage and sale of products. Only when grown from healthy, virus-free seed material of recoverable varieties, adapted to specific soil and climatic conditions, in compliance with the requirements of agricultural technology, can you get high-microbiological diseases, aging, germination and also to maximize its nutritional value.

#### Для цитирования

Васюкова А.Т., Беленков А.И., Мазиров М.А., Савоскина О.А., Заверткин И.А., Мошкин А.В. Исследование потребительских свойств сортов картофеля // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 49–56. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-49-56

#### For citation

Vasyukova A.T., Belenkov A.I., Mazirov M.A., Savoskina O.A., Zavertkin I.A., Moshkin A.V. Investigating The Consumer Properties Of Potato Cultivars. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 49–56. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-49-56

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

In this regard, the improvement of the quality of potatoes is considered as an accumulation of positive properties (food components) during the production period and the achievement of the higher level of the content of these components over a long-term cultivation period.

In recent years, the starch content of potatoes has decreased, 50% of the produced potatoes do not meet the requirements of standards, 25–60% of tubers contain toxic substances (pesticides, heavy metal salts, nitrates, etc.) above the permissible levels [2]. The country's crop production is under the constant negative influence of abiotic environmental factors. As a result of stress effects caused by sharp fluctuations in weather conditions, global warming and the action of a complex of anthropogenic factors, there is a decrease in yield, keeping quality and nutritional value of crop products [4–6].

The aim of the research is to determine the yield of semi-finished products and consumer properties of various potato cultivars [7].

Based on the foregoing, it is necessary to consider the consumer properties of potatoes and the storage potential as a result of the complex interaction of many factors in the agroecosystem.

### Material and Methods

Spot samples were taken from lots of unpackaged potatoes from different places of the embankment in accordance with GOST 33996–2016 Seed potatoes. Technical conditions and methods for determining quality. The size of tubers of the combined sample was measured by the largest transverse and longitudinal diameter using calibration templates and other measuring instruments in accordance with GOST 33996–2016. The assessment of keeping capacity was carried out according to the VNIKH method, which is based on the laying of tubers by weight for storage and accounting for waste after it. Determination of starch-la content in potato tubers was carried out in accordance with GOST 7194–81. Fresh potatoes. Acceptance rules and quality determination methods. The amount of water was investigated according to ISO 760–78 "Determination of water by the Karl Fischer method (general method)", the mass fraction of protein – by the Kjeldahl method.

### Results and Discussion

To identify the optimal consumer characteristics of potato cultivars, we ranked them according to the degree of maturity.

*Sample 1 (POT1)* – early ripening (45–50 days), common usage.

*Cultivar description:* ultra-early ripening, common usage. The bush is sprawling, of medium height. Stems are few in number, strongly branched. The leaves are large, strongly dissected, dark green, slightly pubescent, with sharp venation.

Abundant flowering, short-term. The inflorescence is compact, multi-flowered. Corolla reddish purple with white tips. Berry formation is absent. Tubers are short-oval with a blunt apex and a flat stolon track, pink to red. The eyes are few and small. The pulp is white, it does not darken when cut.

*Characteristics of the cultivar:* in the Central region, the yield is 145–324 c/ha. The maximum yield (380 c/ha) was formed in the Lipetsk region. Potential yield – 600 c/ha. The mass of the marketable tuber is 122–167 g. The starch content is 10.8–14.7%. The taste is good. Indicators during storage are 92–96%. The resistance of tubers to mechanical damage is 90%. Resistant to cancer and potato nematode.

*Cultivar value:* resistance to nematode, high early yield with good taste, resistance of tubers to mechanical damage and excellent storage performance.

*Sample 2 (POT2)* – very early maturing (55–65 days), for common consumption.

*Cultivar description:* Bush of medium height, intermediate type. The leaves are green, medium-intensive, medium-sized, moderately dissected. The flowers are white. Tubers are yellow, oval-round. The pulp is yellow, does not darken. The taste is good, crumbly when cooked. The mass of tubers is 130–150 g. The yield is high, 46 g/ha. Starch content is 10–12%. The shelf life is excellent.

*Characteristics of the cultivar:* The variety is resistant to cancer, potato nematodes, late blight. It is weakly affected by common scab and rhizoctonia.

*Cultivar value:* very early ripening, tubers are aligned in size, high palatability, disease resistance.

*Sample 3 (POT3)* – early maturing (55–65 days), common purpose.

*Cultivar description:* plant is low, intermediate type, semi-upright-standing. The leaf is green. The leaf is medium in size. The waviness of the edge is weak. Corolla is medium in size, reddish purple. The tuber is long and oval, with small eyes. The peel is red. The pulp is yellow. The mass of the commercial tuber is 56–102 g. The starch content is 10.1–15.6%. The taste is good.

*Characteristics of the cultivar:* marketable yield 164–192 c/ha, 22–106 c/ha higher than the standards of *POT5* and *POT1* (early). It actively forms tubers together. Productivity on the 45th day after full germination (first digging) – 84 c/ha, 24 c/ha higher than the standard of *POT1* (early), on the 55th day (second digging) – 108 c/ha, 45 c/ha above the standard. The maximum yield is 270 kg / ha. Marketability 82–96%, at the level of the standards. Keeping quality is 98%. Resistant to the causative agent of potato cancer, golden potato cyst nematode. It is susceptible to late blight pathogen in tops and moderately susceptible to tubers.

*Cultivar value:* nematode resistance, active outcome of early production, high marketability and keeping quality of tubers.

*Sample 4 (POT4)* – early ripe (65–80 days), common usage.

*Cultivar description:* plant of medium height, intermediate type, upright or semi-upright. The leaf is large, of medium green color, the waviness of the edge is absent or very weak. Flowering is short-term. The flowers are medium in size, reddish purple with a white tip.

*Characteristics of the cultivar:* marketable yield 180–271 c/ha. It forms tubers together. The maximum yield is 354 c/ha. The tuber is round or short and oval, the eyes are small. The peel is smooth to medium, red. The pulp is white. The average number of tubers per bush is 11–15 pieces. Marketability is 85–90%. The mass of the marketable tuber is 60–90 g. The starch content is 15.7–16.0% up to 20%. The taste is excellent, boiled semi-crumblily. Keeping quality is 95%. It is resistant to potato cancer.

*Cultivar value:* high yield, early maturity, formation of early production, high taste of tubers.

*Sample 5 (POT5)* – early ripening (65–80 days), common purpose.

*Cultivar description:* early sowing, suitable for summer consumption and winter storage, common purpose. The potato bush is sprawling, low, with a lot of foliage and white inflorescences. The tubers are oval, large, with a thin smooth skin and small eyes. The mass of ripe potatoes is about 100 g. The pulp is white, the starch content is 12% of the mass of potatoes.

*Characteristics of the cultivar:* yield is 1500 kg per 1 ha. The high content of starch and vitamin C makes this potato variety suitable for use in many economic purposes, in food and industrial activities.

*Cultivar value:* it is drought-resistant, high-yielding and early ripe (the harvest can be dug in June if potatoes are planted with seedlings), does not darken when mechanically damaged. Easily tolerates cold snaps (potato safety – 98%). Potatoes are resistant to many viral diseases, late blight, cancer, rhizoctonia, rot, wrinkled mosaic, and even the Colorado potato beetle.

*Sample 6 (POT6)* is a mid-early common cultivar.

*Cultivar description:* refers to medium-early common cultivars of high yields. The cultivar is versatile and adapts well to various climatic conditions. Ripening of tubers occurs within 65–80 days after planting. You can dig potatoes for testing in 50–55 days.

*Characteristics of the cultivar:* the color of the shell is white; the color of the pulp is the same. The starch content is in the range of 80–140 g.

Under good growing conditions, you can easily get up to 10 tubers from 1 pile weighing 80–140 g. The yield of *POT1* is up to 400 centners from 1 hectare.

*Cultivar value:* tubers have good commercial qualities. They have excellent taste, appearance, shelf life (up to 93%). Also, potatoes do not change their color during heat treatment or after peeling. The variety has a fairly good resistance to late blight of tops and tubers.

*Sample 7 (POT7)* – mid-early (80–90 days), common.

*Cultivar description:* mid-early common high-yielding cultivar with high marketability and excellent taste. The bush is low, compact, upright, with numerous strongly branching stems, white flowers. Tubers are round and oval in shape, with red eyes and an oval top. The peel is white, the flesh is white, does not darken during cutting, the starch content is 10.7–14.8%. The mass of the marketable tuber is 90–130 g. It is easy to wash and clean. They do not crumble during cooking. It is not recommended for frying and mashed potatoes, better in soup and salads. The tubers are well preserved.

*Characteristics of the cultivar:* marketability – 90–95%, yield – 38–50 t/ha. Potential productivity is up to 1.5 kg per bush. The variety is resistant to rhizoctonia, moderately resistant to late blight, common scab. Resistant to drought and waterlogging. The percentage of preservation during winter storage is good. Cultivar of intensive type, actively responds to the application of increased doses of fertilizers. It dislikes cold soils and reacts negatively to cutting tubers and breaking off sprouts. It gives good results when germinating and warming up.

*Cultivar value:* resistant to cancer, rhizoctonia, early blight and blackened stem, high yield, excellent ecological plasticity, high storage quality, good taste.

*Sample 8 (POT8)* – mid-early (80–90 days), common purpose.

*Cultivar description:* medium to tall plant, intermediate type, semi-upright. Medium to large leaf, of dark green color. The waviness of the edge is medium. The tuber is oval with small eyes. The peel is smooth and red. The pulp is creamy, does not darken when cut. Marketable yield is 220–234 c/ha (at the level of the standard of *POT7*). The maximum yield is 396 c/ha, 143 c/ha higher than the standard.

*Characteristics of the cultivar:* marketable yield is 220–234 kg / ha (at the level of the standard of *POT7*). The maximum yield is 396 c/ha, 143 c/ha higher than the standard (Moscow region). The mass of the marketable tuber is 91–133 g. The starch content is 11.9–18%. The taste is good. Marketability is 86–96%. Keeping capacity is 90%. Resistant to the causative agent of potato cancer and golden potato cyst nematode. According to the All-Russian Research Institute of Phytopathology,

it is moderately susceptible in terms of tops and moderately resistant in terms of tubers to the causative agent of late blight.

*Cultivar value:* high yield and marketability, good taste, resistance to golden potato nematode, excellent storage.

*Sample 9 (POT9)* – middle-ripening (80–100 days), common usage.

*Cultivar description:* a bush is upright, compact and of medium height. A leaf is medium, dissected and pubescent. Flowering is average, short-term. The inflorescence is compact and multi-flowered. Berry formation is rare. The tuber is oval, with a blunt apex and a flat stolon trace, light pink. The peel is smooth. The eyes are few and small. The pulp is white, does not darken when cut.

*Characteristics of the cultivar:* the cultivar is high-yielding – 51.4 t / ha in the State test. The marketability of tubers is high with good keeping quality. The mass of the marketable tuber is 83–165 g. The starch content is 12–19%, the taste is good and excellent. It is resistant to cancer, relatively resistant to late blight, common scab, moderately resistant to viruses and damping out.

*Cultivar value:* high yield, excellent taste, high storage quality, high marketability.

*Sample 10 (POT10)* – mid-season (80–100 days), for common use.

*Cultivar description:* bush is of medium height, semi-spreading and has dark green leaves. The flowers are blue-violet with white tips. Tubers are white, rounded, with a blunt top. The peel is mesh. Eyes are small to medium. The pulp is white, does not darken during cooking. The taste is excellent, friable when cooking. Tuber mass is 100–150 g. High-yielding, up to 50 tons and more per hectare. Starch content is 18–21%, dry matter – up to 26%, high yield marketability – up to 97%

*Cultivar characteristics:* the cultivar is resistant to cancer, ring and wet rot, scab, rhizoctonia, early blight, Y virus, relatively resistant to other potato mosaic viruses. Medium resistant to phytofluorosis. It is resistant to drought and heat. The yield is good when there is little rainfall.

In some years, hollowiness is possible, it requires a thickened planting. It shows resistance to low temperatures.

*Cultivar value:* excellent taste, resistant to many diseases, good keeping quality of tubers.

*Sample 11 (POT11)* – mid-season (90–100 days), common usage.

*Cultivar description:* light beige tubers. The eyes are small. The pulp is white. The corolla is white. Productivity is 40–45 t / ha. Marketability is 85–94%. The mass of the marketable tuber is 100–130 g. Starch content is 13–16%. The taste is good and excellent. The tubers are well preserved.

*Cultivar characteristic:* resistant to viruses X and Y, early blight, heat, drought. It is medium resistant to late blight in tops and tubers, to common scab. Rhizoctonia is poorly affected.

*Cultivar value:* excellent taste, high yield and marketability, resistant to viral diseases, heat, drought, excellent storage.

*Sample 12 (POT12)* – mid-late (110–120 days), common usage.

*Cultivar description:* plant is tall, of leaf type, upright. Medium-sized leaf, light green. Corolla is medium in size, reddish purple. Marketable yield is 191–304 c/ha, at the level and 77 c/ha higher than the standard of POT1.

*Cultivar characteristic:* oval-rounded tuber with small eyes. The peel is smooth, yellow. The pulp is white. The mass of the commercial tuber is 78–158 g. The starch content is 10.3–13.2%. The taste is good. Marketability – 84–98%. Keeping quality is 91%. Resistant to the causative agent of potato cancer, susceptible to the golden potato cyst nematode, moderately susceptible to the causative agent of late blight in the tops and tubers [10].

*Cultivar value:* stable yield, uniformity, drought resistance and heat resistance.

A deeper study of the ways of forming the consumer properties of potatoes at all stages of commodity circulation is facilitated by complex and multilateral studies conducted with samples of potato cultivars POT7, POT9, POT5, POT12, POT6, POT4, POT8, POT3 and POT1. The research results are shown in Fig. 1 and 2 and in Table 1 and 2.



Figure 1. Potato cultivar “POT9” – surface appearance



Figure 2. Lengthwise section of the cultivar “POT9”

Table 1.

Weight and size characteristics of potato tubers and amount of wastes

Cultivar	Size			Weight, g	Mass of semi-finished product, g	Wastes, g, (%)
	length, mm	height, mm	width, mm			
POT6	35	35	45	88	80	8 (9.1)
POT4	75	33	52	96	88	8 (8.33)
POT5	85	30	52	114	103	11 (9.64)
POT8	67	40	62	126	113	13 (10.31)
POT3	75	33	48	86	77	9 (10.46)
POT12	60	40	60	106	97	9 (8.49)
POT7	40	30	30	76	68	8 (10.52)
POT9	53	35	40	82	72	10 (12.2)
POT1	60	35	50	72	62	10 (13.9)

Table 2.

Nutritional value of potato cultivars, grown in the Moscow region

Cultivar	Water, %	Proteins, %	Starch, %	Sugar, %	Calories, kkal
POT6	78.6	2.0	13.0–18.0	0.1	77
POT4	75.6	2.0	16.0–20.0	1.0	77
POT5	79.7	2.0	11.0–14.5	1.3	77
POT8	77.2	2.0	11.9–18.0	0.31	84
POT3	77.7	2.0	12.5–16.8	1.0	83
POT12	81.3	2.0	10.3–13.2	1.0	70
POT7	79.0	2.0	10.1–15.6	1.0	77
POT9	81.8	1.89	12.0–12.5	1.3	70
POT1	84.0	1.9	9.5–10.1	1.0	70

As a result of the research, it was found that the largest tubers in size are *POT5*, *POT4* and *POT3* (75–85 mm), while the smallest one is *POT6* (35 mm). But in terms of weight *POT8* (126 g), *POT5* (114 g) and *POT12* (106 g) are classified as large, while *POT1* (72 g) and *POT7* (76 g) are the smallest.

While preparing semi-finished products, it was found that the minimum amount of wastes was obtained when peeling potato cultivars *POT4* (8.33%), *POT12* (8.49%) and *POT6* (9.1%). And since the research was carried out in April, compared to the Norms of waste and losses during processing of food products, the wastes obtained during potato peeling is 5 times less than these norms. This indicates the high-quality storage of potatoes for such a long period of time.

Starch is the main potato component. Thanks to it, the vegetable gets energy value. In order not to spoil the dish, it is important to know which potato cultivars can be recommended for various dishes. With different concentration of starch in a tuber, its properties are differentiated: it is enough to cut a potato and rub the halves. Agglutination will indicate high starchiness, while the presence of liquid will speak about low content of starch. Competent selection of the appropriate potato cultivar, as well as the use of the optimal amount per serving will make the nutrition balanced and the culinary process is not complicated.

We have also analyzed the situation in the development of the food potato market and studied the factors that form the consumer properties of the product; the consumer and technological properties of economic and botanical potato cultivars have been investigated and an assessment of their competitiveness is given [8, 9].

### Conclusion

Thus, a comprehensive assessment of the nutritional value, organoleptic and technological properties of promising economic and botanical potato cultivars grown in various soil and climatic conditions of the Moscow region showed that:

1. Cultivars *POT4* and *POT3* differ in higher level of accumulation of the main nutritional components and high organoleptic and technological properties;
2. Cultivar *POT5* demonstrates high crop capacity, but differs in worse technological properties and keeping capacity;
3. Cultivars *POT4*, *POT6* and *POT12* are characterized with stable physiological processes at long storage that is resulted in their better keeping capacity;
4. Cultivars *POT4*, *POT3* and *POT7* demonstrate high marketability and keeping capacity, they are resistant to different diseases.
5. In terms of usage cultivars with high starch content can be divided into the following groups:

6. universal potato is similarly suitable both to consumption and to production of starch and other substances;  
7. commodity potato is grown in huge amounts as it is used for sale, the starch content of this potato corresponds to the botanical potato cultivar;

8. commercial potato is used for production of alcohol and starch, feeding of animals;  
9. feed potato differs in higher concentration of both starch and protein that makes it better than commercial potato.

## References

- 1 Chashchin V.P., Gudkov A.B., Popova O.N., Odland J.Ö. et al. Description of Main Health Deterioration Risk Factors for Population Living on Territories of Active Natural Management in the Arctic. *Human Ecology*. 2014. no. 1. pp. 3–12. (in Russian).
- 2 Kontorovich A.E., Korzhubaev A.G., Eder L.V. Forecast of global energy supply: Techniques, quantitative assessments, and practical conclusions. *Mineral resources*. 2006. no. 5. Available at: <http://www.vipstd.ru/gim/content/view/90/278/> (in Russian).
- 3 Raskina T.A., Pirogova O.A., Zobnina O.V., Pintova G.A. Indicators of the osteoclastogenesis system in men with different clinical types of ankylosing spondylitis. *Modern Rheumatology Journal*. 2015. vol. 9. no. 2. pp.23–27. doi: 10.14412/1996-7012-2015-2-23-27 (in Russian).
- 4 Tereshchenko Yu.V. Interpretation of main indices of heart rate variability. *Proceedings of Interregional Conference “The New Medical Technology at Initial Stage of Public Care”*, Omsk, 10–11 April 2010. Omsk, 2010. pp. 3–11. (in Russian).
- 5 Abdurakhmanov G.M., Lopatin I.K. *Basics of Zoology and Zoogeography*. Moscow, Akademiya, 2001. 496 p.
- 6 Kondrat'ev V.B. The global pharmaceutical industry. Available at: [http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja\\_farmaceuticheskaja\\_promyshlennost\\_2011-07-18.html](http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmaceuticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.html)
- 7 State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (in Russian).
- 8 Pavlova M.N. Assessment of consumer properties and systematization of zoned and promising potato varieties according to areas of use for the agricultural sector. Orel, 2007. 139 p. (in Russian).
- 9 Savina O.V., Pavlova M.N. Evaluation of tubers of zoned and promising potato varieties for suitability for industrial processing. *Materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists “The Contribution of Young Scientists to the Development of Agrarian Science of the 21st Century”*. Ryazan, 2004. pp. 408-410. (in Russian).
- 10 Sharma C., Chambers IV.E., Sastry J., Sathuvalli V. et al. Development of a lexicon to describe the sensory characteristics of a wide variety of potato cultivars. *Journal of Sensory Studies*. 2020. vol. 35. no. 4. pp. e12577.
- 11 Bough R., Holm D., Sastry J. Profiling and Putative Aroma Biomarker Identification for Flavor in Potatoes using a Trained Sensory Panel and HS-SPME GC-MS. *Colorado State University*, 2017.
- 12 Oliver P., Cicerale S., Pang E., Keast R. Check all that applies as an alternative for descriptive analysis to establish flavors driving liking in strawberries. *Journal of Sensory Studies*. 2018. vol. 33. no. 2. pp. e12316. doi: 10.1111/joss.12316
- 13 Cabezas-Serrano A.B., Amodio M.L., Cornacchia R., Rinaldi R. et al. Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut products. *Postharvest Biology and technology*. 2009. vol. 53. no. 3. pp. 138-144. doi: 10.1016/j.postharvbio.2009.03.009
- 14 Bali S., Patel G., Novy R., Vining K. et al. Evaluation of genetic diversity among russet potato clones and cultivars from breeding programs across the united states. *PloS One*. 2018. vol. 13. no. 8. pp. e0201415. doi: 10.1371/journal.pone.0201415
- 15 Morris W.L., Taylor M.A. Improving flavor to increase consumption. *American Journal of Potato Research*. 2019. vol. 96. pp. 195-200. doi: 10.1007/s12230-018-09702-7
- 16 Bowen A.J., Blake A., Tureček J., Amyotte B. External preference mapping: A guide for a consumer driven approach to apple breeding. *Journal of Sensory Studies*. 2019. vol. 34. no. 1. pp. e12472. doi: 10.1111/joss.12472
- 17 Ares G., de Andrade J.C., Antúnez L., Alcaire F. et al. Hedonic product optimisation: CATA questions as alternatives to JAR scales. *Food Quality and Preference*. 2017. vol. 55. pp. 67-78. doi: 10.1016/j.foodqual.2016.08.011
- 18 Savina O.V., Markov A.I., Pavlova M.N. Productivity and directions of use of various varieties of potatoes cultivated in the conditions of the Ryazan region. *Ryazan Gazette*. 2005. no. 17. pp. 3-5. (in Russian).
- 19 Amodio M.L. et al. Implementation of rating scales for visual quality evaluation of various vegetable crops. *Produce quality rating scales and color charts*. Postharvest technology Center, University of California, 2007.
- 20 Billaud C., Roux E., Brun-Merimee S., Maraschin C. et al. Inhibitory effect of unheated and heated D-glucose, D-fructose and L-cysteine solutions and Maillard reaction product model systems on polyphenoloxidase from apple. I. Enzymatic browning and enzyme activity inhibition using spectrophotometric and polarographic methods. *Food Chemistry*. 2003. vol. 81. no. 1. pp. 35-50. doi: 10.1016/S0308-8146(02)00376-X
- 21 Furrer A.N., Chegeni M., Ferruzzi M.G. Impact of potato processing on nutrients, phytochemicals, and human health. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2018. vol. 58. no. 1. pp. 146-168.
- 22 Jaeger S.R., Antúnez L., Ares G., Swaney-Stueve M. et al. Quality perceptions regarding external appearance of apples: Insights from experts and consumers in four countries. *Postharvest biology and technology*. 2018. vol. 146. pp. 99-107. doi: 10.1016/j.postharvbio.2018.08.014

# Information about authors

# Contribution

- Anna T. Vasyukova** Dr. Sci. (Engin.), professor, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, 11, Volokolamskoye Shosse, Moscow, 125080, Russia, vasyukova-at@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-7374-4145>  
 proposed a scheme of the experiment and organized production trials
- Aleksey I. Belenkov** Dr. Sci. (Agric.), professor, perennial grass breeding department, Federal Scientific Center for Fodder Production and Agroecology named after V.R. Williams, st. Nauchniy Gorodok, bldg. 1.g. Lobnya-5, Moscow region, 141055 Russia, osavoskina@rgau-msha.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0422-4936>  
 review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
- Michail A. Mazirov** Dr. Sci. (Biol.), professor, department of agriculture and MOD, Russian State Agrarian University - K.A. Timiryazev MSHA, st. Timiryazevskaya, 49. Moscow 127550, Russia, belenokaleksis@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-8152-1021>  
 consultation during the study
- Olga A. Savoskina** Dr. Sci. (Agric.), professor, department of agriculture and MOD, Russian State Agrarian University - K.A. Timiryazev MSHA, st. Timiryazevskaya, 49. Moscow 127550, Russia, zavertkin@rgau-msha.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1568-0364>  
 wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
- Igor A. Zavertkin** Cand. Sci. (Agric.), professor, department of agriculture and MOD, Russian State Agrarian University - K.A. Timiryazev MSHA, st. Timiryazevskaya, 49. Moscow 127550, Russia, zavertkin@rgau-msha.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8152-1021>  
 consultation during the study
- Aleksandr V. Moshkin** Cand. Sci. (Engin.), technology laboratory, LLC DoorHan, Novaya st., 120, 1 Akulovo village, Odintsovo, Moscow region, 143002, Russia, aldahaev@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-5607-0364>  
 conducted an experiment, performed computations

# Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 10/10/2023

Accepted in revised 03/11/2023


Accepted 22/11/2023

## Исследование потребительских свойств сортов картофеля


**Аннотация.** В настоящее время в предприятиях общественного питания используются технологии, которые не предусматривают сортовое деление овощей, в частности картофеля. Это приводит к получению завышенных отходов при очистке и значительных потерь пищевой ценности при приготовлении кулинарной продукции. Быстроразаваривающиеся сорта картофеля вместе с сортами длительной обработки в одном кулинарном изделии приводят к тому, что половина продуктов доводится до готовности, а другая за это же время, остается сырой, или при более длительной обработке первая разваривается, теряя питательные вещества. В статье рассматриваются сорта картофеля с различной концентрацией крахмала, выращиваемые в центральной части страны. Цель исследования - определить конечный результат и потребительские свойства различных сортов картофеля. Объектами исследования стали следующие сорта картофеля: ROT6 (I репродукция), ROT4 (элита), ROT5 (II репродукция), ROT8 (II репродукция), ROT3 (элита), ROT12 (I репродукция), ROT7 (элита), ROT9 (среднеранний) и ROT1 (ранний). Установлено, что самыми крупными по размеру (75-85 мм) являются ROT5, ROT4 и ROT3, а самыми мелкими (35 мм) - ROT6. А вот такие сорта, как ROT8, ROT5 и ROT12 - самые крупные по весу (106-126 г), в то время как ROT1 и ROT7 - самые легкие (72 и 76 г, соответственно). Такие сорта картофеля, как ROT4 (8,33%), ROT12 (8,49%) и ROT6 (9,1%), дали минимальное количество отходов при очистке. Поскольку исследование проводилось в апреле, общее количество отходов было в 5 раз меньше по сравнению со стандартами отходов и потерь при переработке пищевых продуктов. Это говорит о длительном сроке хранения.

**Ключевые слова:** potato, nutritional value, consumer properties, shelf life, cultivar description.


**Анна Т. Васюкова** д.т.н., профессор, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, д. 11, Москва, 125080, Россия, vasyukova-at@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7374-4145>


**Алексей И. Беленков** д.с/х.н., профессор, отдел селекции многолетних трав, Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса, ул. Научный городок, корп. 1.г. Лобня-5, Московская обл., 141055 Россия, belenokaleksis@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-8152-1021>


**Михаил А. Мазиров** д.б.н., профессор, кафедра земледелия и МОД, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д. 49. г. Москва 127550, Россия, zavertkin@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8152-1021>

**Ольга А. Савоськина** д.с/х.н., профессор, кафедра земледелия и МОД, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д. 49. г. Москва 127550, Россия, osavoskina@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0422-4936>





**Игорь А. Заверткин** к.с/х.н., доцент, и.о. заведующий кафедрой, кафедра земледелия и МОД, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д. 49. г. Москва 127550, Россия, zavertkin@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1568-0364>

**Александр В. Мошкин** к.т.н., технолог, технологическая лаборатория, ООО «DoorHan», ул. Новая. 120, стр. 1, с. Акулово, Одинцово, Московская обл., 143002, aldahaev@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5607-0364>

## Изучение состава супернатанта из томатов







Андрей О. Гребенщиков	<sup>1</sup>	<a href="mailto:serafim10@ya.ru">serafim10@ya.ru</a>	 0000-0002-0443-9809
Алла Е. Чусова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:hycovai@mail.ru">hycovai@mail.ru</a>	 0000-0003-1237-4870
Людмила Э. Глаголева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:milaprofi@mail.ru">milaprofi@mail.ru</a>	 0000-0002-3222-301X
Владимир И. Корчагин	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kvi-vgt@rambler.ru">kvi-vgt@rambler.ru</a>	 0000-0001-7212-1627
Виктория А. Иванова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:viktoriaivanova@bk.ru">viktoriaivanova@bk.ru</a>	 0009-0000-1405-9327
Алена А. Пронькина	<sup>1</sup>	<a href="mailto:pronkinaalena12@gmail.com">pronkinaalena12@gmail.com</a>	 0000-0002-8183-6082

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

**Аннотация.** Одним из путей улучшения состояния здоровья людей с помощью пищевых продуктов является промышленное производство изделий, так называемой группы «здоровье», к которой в настоящее время относят безалкогольные напитки, в том числе специального назначения. Напитки являются самой технологичной основой для создания новых видов функциональных продуктов. Безалкогольные напитки широко применяют в лечебном и профилактическом питании. Они полезны не только для нормализации водно-электролитного обмена, но также для оптимизации химической структуры рациона. Одним из перспективных функциональных компонентов напитков получаемым в процессе производства ликопина из томатов является супернатант. Информация о его компонентном составе в доступной литературе отсутствует. Проведено качественное и количественное исследование супернатантов томатов разных сортов. Определены некоторые углеводы, водорастворимые витамины, микро- и макроэлементы, органические кислоты, флавоноиды. Выявленные нутриенты входящие в состав супернатантов томатов позволяют использовать их в безалкогольных напитках, в том числе специального назначения. Исследование содержания микро- и макроэлементов не выявило существенных различий в супернатанте, полученном из разных сортов томатов, но стоит отметить достаточно высокое содержание железа и меди. Установлено, что наибольшее количество витамина С обнаружено в супернатанте, полученном из томатов сорта Волгоградский. Несмотря на то, что супернатант является побочным продуктом производства каротиноидов, он обладает спектром безусловно ценных для человека нутриентов и может быть использован в технологии пищевых продуктов, в частности безалкогольных напитков, в том числе специального назначения. Следующим этапом работы будет разработка технологии приготовления напитка специального назначения с применением супернатантов, полученных из разных сортов томатов.

**Ключевые слова:** томаты, супернатант, нутриентный состав, микроэлементы, органические кислоты.

## Studying the composition of a tomato supernatant

Andrey V. Grebenshchikov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:serafim10@ya.ru">serafim10@ya.ru</a>	 0000-0002-0443-9809
Alla E. Chusova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:hycovai@mail.ru">hycovai@mail.ru</a>	 0000-0003-1237-4870
Lyudmila E. Glagoleva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:milaprofi@mail.ru">milaprofi@mail.ru</a>	 0000-0002-3222-301X
Vladimir I. Korchagin	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kvi-vgt@rambler.ru">kvi-vgt@rambler.ru</a>	 0000-0001-7212-1627
Victoria A. Ivanova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:viktoriaivanova@bk.ru">viktoriaivanova@bk.ru</a>	 0009-0000-1405-9327
Alyona A. Pronkina	<sup>1</sup>	<a href="mailto:pronkinaalena12@gmail.com">pronkinaalena12@gmail.com</a>	 0000-0002-8183-6082

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

**Abstract.** One of the ways to improve people's health through food is the industrial production of products, the so-called "health" group, which currently includes soft drinks, including special-purpose ones. Drinks are the most technologically advanced basis for creating new types of functional products. Soft drinks are widely used in therapeutic and preventive nutrition. They are useful not only for the normalization of water-electrolyte metabolism, but also for optimizing the chemical structure of the diet. One of the promising functional components of beverages obtained during the production of lycopene from tomatoes is a supernatant. There is no information about its component composition in the available literature. A qualitative and quantitative study of the supernatants of tomatoes of different varieties is given. Some carbohydrates, water-soluble vitamins, micro- and macronutrients, organic acids, and flavonoids have been identified. The identified nutrients that are part of the tomato supernatants allow them to be used in soft drinks, including for special purposes. The study of the content of micro- and macronutrients did not reveal significant differences in the supernatant obtained from different varieties of tomatoes, but it is worth noting a fairly high content of iron and copper. It was found that the largest amount of vitamin C was found in a supernatant obtained from tomatoes of the Volgogradsky variety. Despite the fact that the supernatant is a by-product of carotenoid production, it has a range of nutrients that are certainly valuable to humans and can be used in food technology, in particular soft drinks, including special-purpose ones. The next stage of the work will be the development of a technology for preparing a special-purpose drink using supernatants obtained from different varieties of tomatoes. The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation № 23-26-00217, <https://rscf.ru/project/23-26-00217/>

**Keywords:** tomatoes, supernatant, nutrient composition, trace elements, organic acids.

Для цитирования

Гребенщиков А.В., Чусова А.Е., Глаголева Л.Э., Корчагин В.И., Иванова В.А., Пронькина А.А. Изучение состава супернатанта из томатов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 57–62. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-57-62

For citation

Grebenshchikov A.V., Chusova A.E., Glagoleva L.E., Korchagin V.I., Ivanova V.A., Pronkina A.A. Studying the composition of a tomato supernatant. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 57–62. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-57-62

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

## Введение

Во многих странах мира, в том числе и в России, производство и потребление напитков имеет устойчивую тенденцию к росту. Исследование алиментарных привычек населения России свидетельствует об увеличении спроса и соответственно потребления продуктов из группы «здоровье» и, в частности, напитков специального назначения. Значение напитков в питании человека трудно переоценить. В первую очередь это связано с пищевой и биологической ценностью этих продуктов. Напитки наряду с другими продуктами питания являются источником как основных жизненно важных нутриентов так и других ценных компонентов [1–4].

Томаты являются важным компонентом в кухнях многих народов мира и широко используются в пищевой промышленности, занимая одно из первых мест по объемам переработки растительного сырья [9]. Мировое производство томатов растет с каждым годом, и, по данным FAOSTAT, в 2019 году производство составило около 180,8 млн тонн [10].

Современные люди широко используют томаты и продукты на их основе, так как они являются важным источником каротиноидов, включая такой элемент, как ликопин [9, 13–15], который является пигментом, в значительной степени ответственным за характерный темно-красный цвет плодов спелых томатов. Интерес к ликопину обусловлен его биологическими свойствами, в частности антиоксидантными [15–17].

Каротиноиды содержащиеся в томатах могут улучшать питательные свойства, вкус и функциональные качества продуктов, в которых они содержатся [18–20].

Известно, что употребление томатов положительно влияет на здоровье человека. В частности, оказывает противовоспалительное, антиоксидантное, антимутагенное, антипролиферативное, химиопрофилактическое [12, 18], иммунопротекторное [9] и снижающее уровень холестерина в крови [13, 18].

Одним из способов улучшения здоровья людей с помощью продуктов питания является промышленное производство продуктов из так называемой группы "здоровья", к которой сегодня относятся безалкогольные напитки специального назначения. Напитки представляют собой идеальную основу для разработки новых функциональных продуктов. Безалкогольные напитки часто используются для обогащения рациона питания с целью лечения и профилактики различных заболеваний. Они не только помогают поддерживать оптимальный баланс воды и электролитов в организме,

но и улучшают химический состав рациона. (Москва 2018). Одним из функциональных ингредиентов, который в последнее время привлекает внимание как производителей, так и исследователей, является ликопин. Существуют различные технологии его получения, но наиболее перспективным применением ликопина в пищевых технологиях является обезвоживание томатных глыб без использования органических растворителей с последующим выделением целевого компонента.

Актуальность работы заключается в отсутствии в доступной научно-технической литературе сведений о химическом составе супернатанта, полученном из разных сортов томатов.

**Цель работы** – исследовать качественный и количественный состав углеводов, водорастворимых витаминов, эссенциальных микро- и макроэлементов, органических кислот, флавоноидов, содержащихся в супернатанте, предназначенном для использования в безалкогольных напитках, в том числе специального назначения.

## Материалы и методы

Супернатанты, получены из томатов сортов Волгоградский, Оранж и Чёрный принц, выращенных в 2022 году в Хохольском районе Воронежской области.

Исследования проводились в специализированных лабораториях ФГБНУ ВНИИПФиТ. Нутриентный состав определяли общепринятыми методами, в том числе: углеводы глюкозу, фруктозу и сахарозу определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по ГОСТ 31669–2012; лимонную и L-яблочную кислоты при ферментативном преобразовании под действием НАД в присутствии L-МДГ спектрофотометрически по ГОСТ Р 51239–98 и ГОСТ Р 51129–98; калий, магний и кальций методом атомно-абсорбционной спектрометрии по ГОСТ 33462–2015, фосфор спектрофотометрическим методом по ГОСТ Р 51430–99; железо, цинк и медь атомно-абсорбционным методом по ГОСТ 30178–96; марганец методом атомной спектрометрии по ГОСТ Р 51309–99; аскорбиновую кислоту методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по ГОСТ 31643–2012; фолаты методом микробиологических испытаний по ГОСТ EN 14131–2015.

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

## Результаты

Наибольшую ценность для приготовления безалкогольных напитков представляют экстрактивные вещества, сначала содержащиеся в сырье, а затем – в безалкогольных напитках. Поэтому весьма актуальным становится вопрос о полезности сырья (супернатанта) для приготовления напитка. В состав любого безалкогольного напитка входят сахара, качественный и количественный состав которых необходимо знать людям, страдающим сахарным диабетом.

На начальном этапе работы исследовали содержание углеводов. В состав супернатанта (таблица 1), используемого для приготовления

безалкогольного напитка, в основном входят углеводы – глюкоза и фруктоза, сахароза как правило присутствовала в исследуемых образцах в незначительном количестве, поэтому, чем меньше ее будет переходить в раствор, тем полезнее станет напиток.

Анализ данных, представленных в таблице 1 показал, что больше всего глюкозы и фруктозы присутствует в супернатанте, полученном из томатов сорта Черный принц.

Установлено, что глюкозы и фруктозы в этом супернатанте 28,8 и 15,3% соответственно больше, чем в супернатанте, полученном из томатов сорта Волгоградский.

Таблица 1.

Содержание органических кислот

Table 1.

The content of organic acids

Супернатант, полученный из томатов сорта A supernatant obtained from tomatoes of the variety	Углеводы, г/100 см <sup>3</sup>   Carbohydrates, g/100 cm <sup>3</sup>		
	Глюкоза   Glucose	Фруктоза   Fructose	Сахароза   Sucrose
Волгоградский   Volgograd	1,25 ± 0,16	1,31 ± 0,19	0,10 ± 0,01
Оранж   Orange	1,34 ± 0,18	1,33 ± 0,17	0,06 ± 0,01
Черный принц   The Black Prince	1,61 ± 0,30	1,51 ± 0,14	0,09 ± 0,01

Углеводов в супернатанте, полученного из томатов сорта Оранж меньше соответственно на 7,2 и 1,5%, чем у супернатанта из томатов Черный принц.

В рецептуру большинства безалкогольных напитков входит лимонная кислота, в связи с этим необходимо знать содержание органических кислот в супернатантах чтобы

корректировать количество лимонной кислоты при разработке новых рецептур напитков.

Исследование органических кислот в образцах супернатантов показало, что в большинстве образцов супернатанта преобладает лимонная кислота, также в незначительных количествах присутствует изомерная форма лимонной кислоты (таблица 2).

Таблица 2.

Содержание макро- и микроэлементов в супернатанте

Table 2.

The content of macro- and microelements in the supernatant

Элементы, мг/100 см <sup>3</sup> Elements, mg/100 cm <sup>3</sup>	Супернатант, полученный из томатов сорта   A supernatant obtained from tomatoes of the variety		
	Волгоградский   Volgograd	Оранж   Orange	Черный принц   Black Prince
Na	10,35 ± 2,29	10,84 ± 2,66	10,86 ± 2,2
K	147,1 ± 34,9	212,5 ± 29,5	228,9 ± 33,4
Ca	8,1 ± 2,11	9,3 ± 1,89	8,7 ± 1,29
Mg	6,1 ± 1,21	7,3 ± 1,29	7,7 ± 1,23
P	10,2 ± 0,11	22,2 ± 0,11	11,5 ± 0,11
Fe	0,20 ± 0,11	0,33 ± 0,11	0,37 ± 0,12
Zn	0,069 ± 0,005	0,071 ± 0,006	0,096 ± 0,005
Cu	0,043 ± 0,011	0,062 ± 0,021	0,054 ± 0,017
Mn	0,001 ± 0,0001	0,050 ± 0,0441	0,027 ± 0,081

Образцы супернатантов показали различное содержание этих кислот, однако содержание лимонной кислоты в образцах супернатантов, полученных из томатов сортов Чёрный принц и Оранж была существенно ниже на 59,6 и 36,5% соответственно, чем у супернатанта, полученного из томатов сорта Волгоградский. Содержание L-яблочной кислоты была также ниже на 70 и 25% в образцах супернатанта, полученных из соответственно томатов сортов

Чёрный принц и Оранж, чем у образцов супернатанта, полученного из сорта Волгоградский.

Регулярное поступление с томатным соком биологически активных веществ способствует защите ДНК лимфоцитов человека от повреждающего действия радиации [18–20]. Поэтому зная содержание микро- и макроэлементов в напитке, можно отнести этот напиток так называемой группе «здоровье».

В результате массового распространения полигиповитаминозов, сопровождавшихся недостатком макро- и микроэлементов (кальций, железо), возникла необходимость разработки напитков функционального назначения, обогащенных комплексом витаминов и минеральных веществ. Поэтому необходимо было определить содержание микро- и макроэлементов, витаминов в супернатантах. Исследование содержания микро- и макроэлементов не выявило достоверных различий в супернатанте, полученном из разных сортов томатов. В качестве исключения стоит отметить достаточно высокую концентрацию железа и меди. Так, содержание натрия в супернатанте, полученном из томатов разных сортов не превышало 11,1 мг/100 см<sup>3</sup>. Содержание калия не превышало 228,9 мг/100 см<sup>3</sup>, а также концентрация кальция, магния и фосфора соответственно не выше 9,3, 7,7 и 22,2 мг/100 см<sup>3</sup> соответственно. Концентрация

цинка не превышала 0,096 мг/100 см<sup>3</sup>, марганца 0,05 мг/100 см<sup>3</sup>.

Концентрация железа и меди в образцах супернатантов из соков сортов Оранж и Чёрный принц по сравнению с образцами из сорта Волгоградский (таблица 3) была несколько выше. Установлено, что концентрация железа в супернатанте, полученном из томатов сорта Чёрный принц и Оранж была выше, чем в образце, полученном из томатов сорта Волгоградский на 85% и 65% соответственно. Исследование концентрации меди выявило иную картину: данного микронутриента было больше в образцах супернатантов из томатов сорта Оранж и Чёрный принц по сравнению образцом супернатанта, полученном из томатов сорта Волгоградский на 44,2 и 25,6% соответственно.

Исследования отдельных витаминов выявили достоверную разницу в их содержании (таблица 4).

Таблица 3.

Содержание витаминов в супернатантах

Table 3.

Vitamin content in the supernatants

Супернатант, полученный из томатов сорта A supernatant obtained from tomatoes of the variety		Витамин С   Vitamin C	Фолаты   Folate	Витамин В <sub>6</sub>   Vitamin B <sub>6</sub>
Волгоградский	Volgograd	5,0 ± 0,4	0,007 ± 0,003	0,20 ± 0,03
Оранж	Orange	1,8 ± 0,4	0,008 ± 0,003	0,19 ± 0,03
Чёрный принц	Black Prince	2,6 ± 0,4	0,011 ± 0,003	0,22 ± 0,03

Установлено, что аскорбиновой кислоты в супернатантах, полученных из томатов сорта Чёрный принц и Оранж было меньше, чем в образце супернатанта, полученном из томатов сорта Волгоградский на 48 и 64%. Фолатов наоборот больше на 57,1 и 14,3% соответственно в образцах супернатантов из томатов сорта Оранж и Чёрный принц, чем в образце, полученном из томатов сорта Волгоградский.

### Заключение

Проведенные исследования показали, что в состав супернатанта входят углеводы, представленные глюкозой и фруктозой, органические кислоты, наиболее значимые для обеспечения человека микро- и макроэлементы, а также биологически активными вещества. Особое внимание необходимо уделить высокому содержанию витамина С в образце супернатанта, полученного

из томатов сорта Волгоградский и повышенное по сравнению с ним содержание фолатов в супернатантах, полученных из томатов Оранж и Чёрный принц. Таким образом несмотря на то, что супернатант является побочным продуктом производства каротиноидов, он обладает спектром безусловно ценных для человека нутриентов и может быть использован в технологии пищевых продуктов, в частности безалкогольных напитков, в том числе специального назначения. Следующим этапом работы будет разработка технологии приготовления напитка специального назначения с применением супернатантов, полученных из разных сортов томатов.

### Благодарности

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

### Литература

- 1 Zharkova I.M., Chusova A.E., Pronkina A., Pochitskaya I. et al. Tomato fruit processing products as sources of functional ingredients // Functional Foods and Bioactive Compounds: Modern and Medieval Approaches: 31st International Conference of FFC. 2023. P. 293–294.
- 2 Чусова А.Е., Жаркова И.М., Гребенщиков А.В., Коркина А.В. и др. Оценка биологической активности осветленного томатного сока // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: сборник научных статей и докладов X Международной научно-технической конференции. Воронеж, 2022. С. 80–84.
- 3 Чусова А.Е., Жаркова И.М., Коркина А.В., Пронькина А.А. и др. Алкогольные напитки с томатными продуктами // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 602–612.

- 4 Ivanova N.N., Khomich L.M., Beketova N.A. Tomato juice nutritional profile // *Voprosy Pitaniia*. 2018. V. 87. № 2. P. 53-64. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10019
- 5 Гаджиева А.М., Касьянов Г.И. Комплексная технология переработки томатного сырья // Вестник ВГУИП. 2015. № 1. С. 12–17. doi: 10.20914/2310-1202-2015-1-12-17
- 6 Strategic analysis and intervention plan for fresh and industrial tomato. URL: <https://www.fao.org/3/ca5669en/CA5669EN.pdf>
- 7 Beecher G.R. Nutrient content of tomatoes and tomato products // *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 1998. V. 218. № 2. P. 98-100. doi: 10.3181/00379727-218-44282a
- 8 Chaudhary P., Sharma A., Singh B., Nagpal A.K. Bioactivities of phytochemicals present in tomato // *Journal of food science and technology*. 2018. V. 55. P. 2833-2849. doi: 10.1007/s13197-018-3221-z
- 9 Аль Анати Рани. Томаты и здоровье. Обзор иностранной литературы // Гавриш. 2007. № 3. С. 40–41.
- 10 Story E.N., Kopec R.E., Schwartz S.J., Harris G.K. et al. An update on the health effects of tomato lycopene // *Annual review of food science and technology*. 2010. V. 1. P. 189-210. doi: 10.1146/annurev.food.102308.124120
- 11 Shi J., Maguer M.L. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2000. V. 40. № 1. P. 1-42. doi: 10.1080/07388550091144212
- 12 Cassileth B. Lycopene // *Oncology*. 2010. V. 24. № 3. P. 296-296.
- 13 Kong K.W., Khoo H.E., Prasad K.N., Ismail A. et al. Revealing the power of the natural red pigment lycopene // *Molecules*. 2010. V. 15. № 2. P. 959-987.
- 14 Trombino S., Cassano R., Procopio D., Di Gioia M.L. et al. Valorization of tomato waste as a source of carotenoids // *Molecules*. 2021. V. 26. № 16. P. 5062.
- 15 Ших Е.В., Елизарова Е.В., Махова А.А., Брагина Т.В. и др. Роль томатов и продуктов из них в здоровом питании человека // *Вопросы питания*. 2021. Т. 90. № 4. С. 129–137.
- 16 Nakamura A., Itaki C., Saito A., Yonezawa T. et al. Possible benefits of tomato juice consumption: a pilot study on irradiated human lymphocytes from healthy donors // *Nutrition journal*. 2017. V. 16. № 1. P. 1-11.
- 17 Weiwei Z., Ling Y. Effects of Lycopene on Oxidative Damage and Mitochondrial Function in the Skeletal Muscle of Mice After Strenuous Exercise // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020. V. 512. № 1. P. 012057. doi: 10.1088/1755-1315/512/1/012057
- 18 Cámara M., Fernández-Ruiz V., Sánchez-Mata M.C., Cámara R.M. et al. Scientific evidence of the beneficial effects of tomato products on cardiovascular disease and platelet aggregation // *Frontiers in Nutrition*. 2022. V. 9. P. 849841. doi: 10.3389/fnut.2022.849841
- 19 Laranjeira T., Costa A., Faria-Silva C., Ribeiro D. et al. Sustainable valorization of tomato by-products to obtain bioactive compounds: Their potential in inflammation and cancer management // *Molecules*. 2022. V. 27. № 5. P. 1701. doi: 10.3390/molecules27051701
- 20 Amadou N.M., Waingeh N.C., Che N.S., Yunenyui M.P. et al. Physicochemical and sensory properties of tree tomato (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtner) drink // *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2020. V. 6. № 2. P. 009-016. doi: 10.30574/wjarr.2020.6.2.0068

## References

- 1 Zharkova I.M., Chusova A.E., Pronkina A., Pochitskaya I. et al. Tomato fruit processing products as sources of functional ingredients. *Functional Foods and Bioactive Compounds: Modern and Medieval Approaches: 31st International Conference of FFC*. 2023. pp. 293–294.
- 2 Chusova A.E., Zharkova I.M., Grebenshchikov A.V., Korkina A.V. and others. Assessment of the biological activity of clarified tomato juice. New in the technology and technology of functional food products based on medical and biological views: a collection of scientific articles and reports of the X International Scientific and Technical Conference. Voronezh, 2022. pp. 80–84. (in Russian).
- 3 Chusova A.E., Zharkova I.M., Korkina A.V., Pronkina A.A. and others. Alcoholic drinks with tomato products. Equipment and technology of food production. 2022. vol. 52. no. 3. pp. 602–612. (in Russian).
- 4 Ivanova N.N., Khomich L.M., Beketova N.A. Tomato juice nutritional profile. *Voprosy Pitaniia*. 2018. vol. 87. no. 2. pp. 53-64. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10019
- 5 Gadzhieva A.M., Kasyanov G.I. Integrated technology for processing tomato raw materials. *Proceedings of VSUET*. 2015. no. 1. pp. 12–17. doi: 10.20914/2310-1202-2015-1-12-17 (in Russian).
- 6 Strategic analysis and intervention plan for fresh and industrial tomato. Available at: <https://www.fao.org/3/ca5669en/CA5669EN.pdf>
- 7 Beecher G.R. Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 1998. vol. 218. no. 2. pp. 98-100. doi: 10.3181/00379727-218-44282a
- 8 Chaudhary P., Sharma A., Singh B., Nagpal A.K. Bioactivities of phytochemicals present in tomato. *Journal of food science and technology*. 2018. vol. 55. pp. 2833-2849. doi: 10.1007/s13197-018-3221-z
- 9 Al Anati Rani. Tomatoes and health. Review of foreign literature. *Gavriish*. 2007. no. 3. pp. 40–41. (in Russian).
- 10 Story E.N., Kopec R.E., Schwartz S.J., Harris G.K. et al. An update on the health effects of tomato lycopene. *Annual review of food science and technology*. 2010. vol. 1. pp. 189-210. doi: 10.1146/annurev.food.102308.124120
- 11 Shi J., Maguer M.L. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2000. vol. 40. no. 1. pp. 1-42. doi: 10.1080/07388550091144212
- 12 Cassileth B. Lycopene. *Oncology*. 2010. vol. 24. no. 3. pp. 296-296.
- 13 Kong K.W., Khoo H.E., Prasad K.N., Ismail A. et al. Revealing the power of the natural red pigment lycopene. *Molecules*. 2010. vol. 15. no. 2. pp. 959-987.
- 14 Trombino S., Cassano R., Procopio D., Di Gioia M.L. et al. Valorization of tomato waste as a source of carotenoids. *Molecules*. 2021. vol. 26. no. 16. pp. 5062.

15 Shikh E.V., Elizarova E.V., Makhova A.A., Bragina T.V. and others. The role of tomatoes and products made from them in healthy human nutrition. *Nutrition Issues*. 2021. vol. 90. no. 4. pp. 129–137. (in Russian).

16 Nakamura A., Itaki C., Saito A., Yonezawa T. et al. Possible benefits of tomato juice consumption: a pilot study on irradiated human lymphocytes from healthy donors. *Nutrition journal*. 2017. vol. 16. no. 1. pp. 1-11.

17 Weiwei Z., Ling Y. Effects of Lycopene on Oxidative Damage and Mitochondrial Function in the Skeletal Muscle of Mice After Strenuous Exercise. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020. vol. 512. no. 1. pp. 012057. doi: 10.1088/1755-1315/512/1/012057

18 Cámara M., Fernández-Ruiz V., Sánchez-Mata M.C., Cámara R.M. et al. Scientific evidence of the beneficial effects of tomato products on cardiovascular disease and platelet aggregation. *Frontiers in Nutrition*. 2022. vol. 9. pp. 849841. doi: 10.3389/fnut.2022.849841

19 Laranjeira T., Costa A., Faria-Silva C., Ribeiro D. et al. Sustainable valorization of tomato by-products to obtain bioactive compounds: Their potential in inflammation and cancer management. *Molecules*. 2022. vol. 27. no. 5. pp. 1701. doi: 10.3390/molecules27051701

20 Amadou N.M., Waingeh N.C., Che N.S., Yunenyui M.P. et al. Physicochemical and sensory properties of tree tomato (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtner) drink. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2020. vol. 6. no. 2. pp. 009-016. doi: 10.30574/wjarr.2020.6.2.0068

#### Сведения об авторах

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

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

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

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

**Людмила Э. Глаголева** д.т.н., профессор, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, milaprofi@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3222-301X>

**Владимир И. Корчагин** д.т.н., профессор, кафедра промышленной экологии и техноосферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kvi-vgta@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7212-1627>

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

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

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

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

#### Вклад авторов

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

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Andrey V. Grebenshchikov** Cand. Sci. (Vet.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, serafim10@ya.ru

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

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

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

**Lyudmila E. Glagoleva** Dr. Sci. (Engin.), professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, milaprofi@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3222-301X>

**Vladimir I. Korchagin** Dr. Sci. (Engin.), professor, industrial ecology and technospheric safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kvi-vgta@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7212-1627>

**Victoria A. Ivanova** student, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, viktoriiivanova@bk.ru

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

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

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

#### 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 29/09/2023	После редакции 17/10/2023	Принята в печать 10/11/2023
Received 29/09/2023	Accepted in revised 17/10/2023	Accepted 10/11/2023

## Оценка биотехнологического потенциала новых штаммов молочнокислых бактерий с криорезистентными свойствами



Светлана В. Китаевская	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kitaevskayas@mail.ru">kitaevskayas@mail.ru</a>	 0000-0002-2211-8742
Ольга А. Решетник	<sup>1</sup>	<a href="mailto:roa.olga@mail.ru">roa.olga@mail.ru</a>	 0000-0001-5322-0769
Дарья Р. Камартдинова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:darya.kamartdinova@mail.ru">darya.kamartdinova@mail.ru</a>	 0000-0002-7561-2795
Анна Н. Волостнова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:volostnova.anna@mail.ru">volostnova.anna@mail.ru</a>	 0000-0003-4837-0732
Наталья К. Романова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:rnk5325@yandex.ru">rnk5325@yandex.ru</a>	 0000-0002-6334-2257

<sup>1</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет, К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия

**Аннотация.** Интенсивное внедрение в хлебопекарной отрасли технологий с использованием замораживания полуфабрикатов и готовой продукции требует новых подходов в разработке стартовых культур для хлебопекарной отрасли, что обусловлено в первую очередь снижением жизнеспособности клеток и изменением их функционально-технологических свойств при низкотемпературном воздействии. В этой связи, исследования, направленные на поиск, селекцию, изучение свойств новых штаммов молочнокислых бактерий, обладающих криорезистентными свойствами, являются своевременными и актуальными. В настоящей работе проведена сравнительная оценка биотехнологического потенциала ранее выделенных штаммов молочнокислых бактерий, обладающих высокой устойчивостью к низкотемпературной обработке, с целью выявления перспективных для применения их в криотехнологии хлебобулочных изделий. Установлено, что штаммы *L. bavaricus* 6, *L. casei* 32 и *L. plantarum* 24 проявляют высокую толерантность к ряду антибиотиков, отличаются широким спектром антибактериального действия, подавляют рост мицелиальных грибов и дрожжей, имеют высокую протеолитическую активность, а также характеризуются как соле-, желче-, кислото- и фенолоустойчивые штаммы. Это служит основой для прогнозирования их пробиотических свойств и делает перспективным их использование для разработки новых продуктов питания с функциональными свойствами. Проведенные исследования позволяют рекомендовать данные штаммы для включения в состав стартовых заквасок для производства ферментированных продуктов питания с применением криогенных технологий, в том числе хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов. Данные штаммы могут быть также рекомендованы для разработки биологически активных добавок для пищевой, фармацевтической, косметической промышленности и ветеринарии.

**Ключевые слова:** молочнокислые бактерии, *Lactobacillus*, криотехнологии, хлебобулочные изделия.

## Evaluation of biotechnological potential of new strains of lactic acid bacteria with cryoresistant properties

Svetlana V. Kitaevskaya	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kitaevskayas@mail.ru">kitaevskayas@mail.ru</a>	 0000-0002-2211-8742
Olga A. Reshetnik	<sup>1</sup>	<a href="mailto:roa.olga@mail.ru">roa.olga@mail.ru</a>	 0000-0001-5322-0769
Darya R. Kamartdinova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:darya.kamartdinova@mail.ru">darya.kamartdinova@mail.ru</a>	 0000-0002-7561-2795
Anna N. Volostnova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:volostnova.anna@mail.ru">volostnova.anna@mail.ru</a>	 0000-0003-4837-0732
Natalia K. Romanova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:rnk5325@yandex.ru">rnk5325@yandex.ru</a>	 0000-0002-6334-2257

<sup>1</sup> Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia

**Abstract.** Intensive introduction in the baking industry of technologies using freezing of semi-finished and finished products requires new approaches in the development of starter cultures for baking, which is primarily due to a decrease in cell viability and changes in their functional and technological properties under low-temperature exposure. In this regard, research aimed at the search, selection, study of new lactic acid bacteria strains with cryoresistant properties is timely and relevant. In the present work, a comparative assessment of the biotechnological potential of previously isolated strains of lactic acid bacteria with high resistance to low-temperature treatment was carried out. It was found that strains *L. bavaricus* 6, *L. casei* 32 and *L. plantarum* 24 show high tolerance to a number of antibiotics, are characterized by a wide spectrum of antibacterial action, inhibit the growth of mycelial fungi and yeasts, have high proteolytic activity, and are also characterized as salt-, bile-, acid- and phenolu-resistant strains. This serves as a basis for predicting their probiotic properties and makes it promising to use them for the development of new food products with functional properties. The conducted studies allow us to recommend these strains for inclusion in the composition of starter starters for fermented foods products using cryogenic technologies, including bakery products based on frozen semi-finished products. These strains can be recommended for the development of biologically active additives for food, pharmaceutical, cosmetic industries and veterinary.

**Keywords:** lactic acid bacteria, *Lactobacillus*, cryotechnology, bakery.

Для цитирования

Китаевская С.В., Решетник О.А., Камартдинова Д.Р., Волостнова А.Н., Романова Н.К. Оценка биотехнологического потенциала новых штаммов молочнокислых бактерий с криорезистентными свойствами // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 63–69. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-63-69

For citation

Kitaevskaya S.V., Reshetnik O.A., Kamartdinova D.R., Volostnova A.N., Romanova N.K. Evaluation of biotechnological potential of new strains of lactic acid bacteria with cryoresistant properties. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 63–69. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-63-69

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

## Введение

На основе анализа биотехнологических свойств микроорганизмов во всем мире создаются различные варианты заквасок, состоящие из монокультур или же их сочетаний; комплексных заквасок с другими группами микроорганизмов, позволяющие в максимальной степени реализовать биотехнологический потенциал отдельных штаммов и их консорциумов [1–6].

Промышленно-ценными культурами микроорганизмов, применяемых в составе большинства заквасок для пищевых продуктов, в том числе и хлебобулочных изделий, являются молочнокислые бактерии, относящиеся к роду *Lactobacillus*, и проявляющие высокую ферментативную активность, устойчивость к кислотам, солям и др., а также синтезирующие широкий спектр биологически активных соединений [7–11]. Особый интерес представляют протеолитические ферменты молочнокислых бактерий, которые в основном формируют текстуру, специфический вкус и аромат ферментированных пищевых продуктов, влияя на их биологическую ценность [12–15].

В настоящее время в хлебопекарной промышленности наметилась стойкая тенденция к росту выпуска замороженных тестовых полуфабрикатов, однако при реализации процессов криогенной технологии хлеба наблюдается ухудшение качественных характеристик готовой продукции, связанного в первую очередь с гибелью микрофлоры при низкотемпературном хранении [16–19], в связи с чем работа, направленная на поиск и разработку новых стартовых заквасок с криорезистентными свойствами является актуальной.

Целью настоящей работы является поиск устойчивых к низкотемпературному воздействию штаммов молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus* и оценка их биотехнологического потенциала.

## Материалы и методы

В ходе многолетней работы по поиску криорезистентных функционально-активных штаммов молочнокислых бактерий из различных пищевых источников растительного и животного происхождения нами было отобрано 15 перспективных штаммов молочнокислых бактерий р. *Lactobacillus*, обладающих высокой устойчивостью к низкотемпературному воздействию (выживаемость клеток при температуре  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  не менее 80%). Данные штаммы хорошо размножаются в широком диапазоне температур от 15 до 45  $^{\circ}\text{C}$ , температурный оптимум составляет 30–37  $^{\circ}\text{C}$ , оптимальное значение pH = 5,5–6,2 [6, 20].

Оценку функционально-технологических свойств штаммов изучали по способности их к кислотообразованию при росте на обезжиренном молоке, активности его сквашивания, количеству клеток молочнокислых бактерий, степени синерезиса, вязкости и плотности сгустка. О протеолитической активности молочнокислых бактерий судили по количеству неосаждаемых трихлоруксусной кислотой продуктов бактериального протеолиза [20], в качестве субстрата использовали 1% растворы сывороточного альбумина и казеина. Антагонистические свойства штаммов оценивали измерением зон подавления роста тест-культур патогенных и условно-патогенных микроорганизмов [3]. Оценку чувствительности штаммов к антибиотическим веществам проводили по диаметру зоны задержки роста исследуемых штаммов вокруг дисков, пропитанных антибиотиками [3, 21]. Для изучения устойчивости штаммов к неблагоприятным условиям проведены исследования по сравнительной выживаемости штаммов молочнокислых бактерий при экспозиции 24 ч в жидкой среде с различными концентрациями желчи (20 и 40%), фенола (0,4%) и соли (6,5%) [3].

## Результаты

В настоящей работе проведено сравнительное изучение важных функционально-технологических свойств ранее выделенных штаммов криорезистентных молочнокислых бактерий с целью выявления перспективных для применения их в производстве хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов. Выбор штаммов молочнокислых микроорганизмов проводили с учетом важнейших функциональных свойств – энергии кислотообразования, антагонистической активности, синтезу протеолитических ферментов, по способности сохранять активность в неблагоприятных условиях окружающей среды.

Все изучаемые штаммы быстро ферментируют молоко, образуя при этом сгустки плотной однородной консистенции с чистым кисло-молочным вкусом, исключение составляют штаммы, относящиеся к видам *L. fermentum* и *L. brevis*, образующие рыхлые сгустки с отделением сыворотки. Выявлено, что все штаммы хорошо развиваются при pH = 3 и в щелочной среде при pH = 9,2, однако снижение pH до 2,0 ингибирует рост большинства лактобактерий (таблица 1).

Установлено, что процент выживаемости клеток в присутствии в жидкой среде различных концентраций NaCl, фенола и желчи существенно зависит от вида и штамма криорезистентных лактобактерий (рисунок 1).

Таблица 1.

Способность штаммов к росту и кислотообразованию

Table 1.

Growth and acid-forming ability of strains

Штамм Strain	Рост Growth		Выживаемость, % Survival, %			Ферментация молока Fermentation of milk			
	15 °C	45 °C	pH 2,0	pH 3,0	pH 9,2	Время, ч Time, h	Кислотность, °T Acidity, °T	pH	Lg LAB
<i>L. casei</i> 1	+	-	-	17,1	80,2	6	106	4,64	10,34
<i>L. casei</i> 7	+	-	2,4	24,3	63,8	6	108	4,63	10,25
<i>L. casei</i> 16	-	+	10,2	28,0	70,5	7	108	4,70	10,0
<i>L. casei</i> 23	-	+	7,1	21,5	67,7	6	110	4,68	9,72
<i>L. casei</i> 32	+	+	10,8	28,6	72,9	4	120	4,59	10,48
<i>L. casei</i> 36	+	-	4,4	29,4	59,8	6	110	4,71	10,27
<i>L. fermentum</i> 10	+	-	13,5	36,8	77,1	7	104	4,70	9,73
<i>L. fermentum</i> 12	+	+	4,0	11,9	81,4	8	106	4,76	9,98
<i>L. fermentum</i> 13	+	-	12,6	34,5	72,8	6	100	4,75	9,58
<i>L. fermentum</i> 24	+	-	7,9	19,7	96,1	7	112	4,77	10,38
<i>L. plantarum</i> 1	+	-	-	15,9	74,0	6	104	4,71	9,89
<i>L. plantarum</i> 21	+	-	2,9	19,2	64,3	6	102	4,70	9,18
<i>L. acidophilum</i> 9	-	+	18,3	41,6	76,9	4	119	4,62	9,32
<i>L. bavaricus</i> 6	-	+	15,6	49,0	79,4	6	112	4,67	10,28
<i>L. brevis</i> 3	+	-	2,2	16,2	84,8	14	76	5,00	8,69

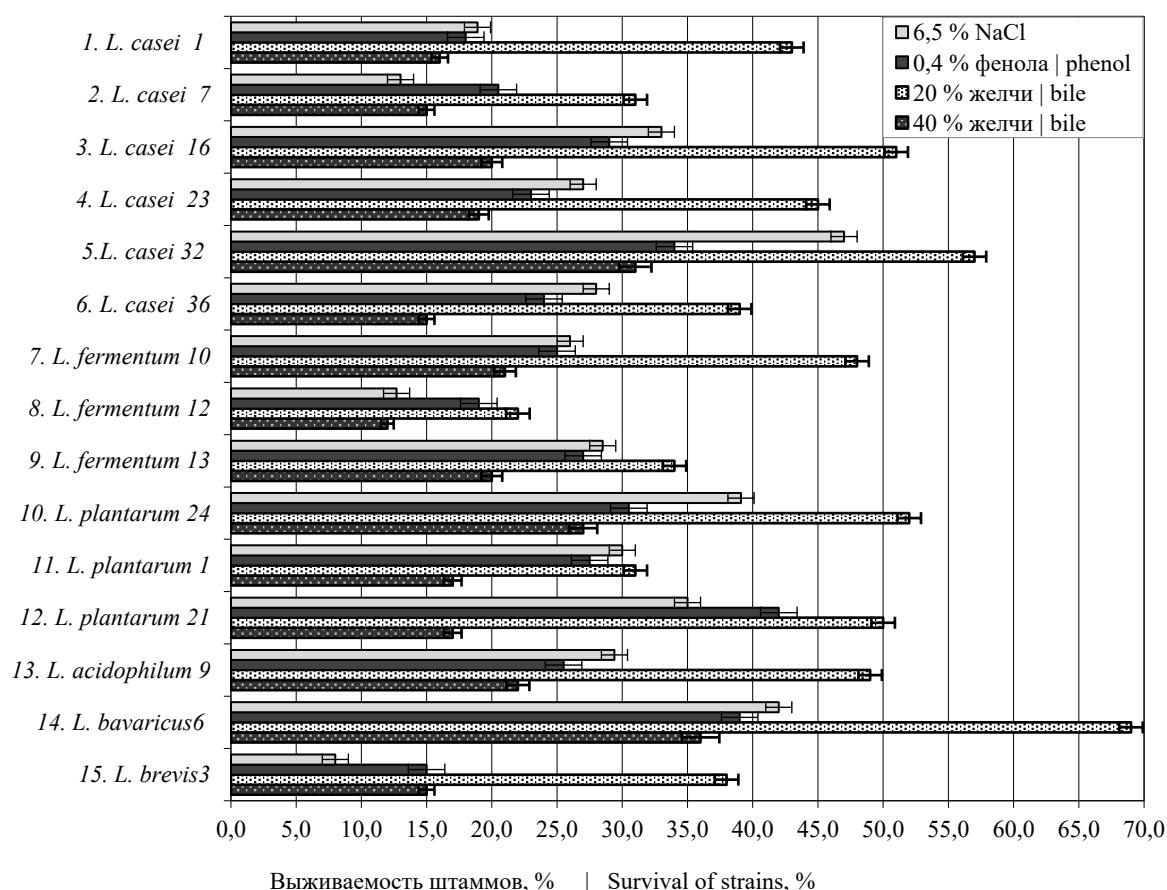


Рисунок 1. Устойчивость штаммов к неблагоприятным факторам окружающей среды

Figure 1. Resistance of strains to unfavorable environmental factors

При внесении в питательную среду желчи в количестве 20 и 40% наблюдается ингибирование роста и кислотообразования, так степень выживаемости клеток при концентрации желчи 20% составляет 20–69%, а при концентрации 40% – 12–36% в зависимости от штамма.

Установлено, что все исследуемые лактобактерии проявляют устойчивость к присутствию в среде фенола в количестве 0,4% и способны развиваться в присутствии хлорида натрия в концентрации 6,5%.

Все штаммы обладают выраженной антагонистической активностью по отношению к *E. coli* и *B. subtilis*. Некоторые исследуемые штаммы (*L. casei* 16, *L. casei* 23, *L. fermentum* 10 и *L. bavaricus* 3) проявляют антагонистическую активность по отношению *S. aureus*, *L. casei* 23, *L. casei* 32 ингибируют рост *Pr. vulgaris*. По отношению к *Ps. aeruginosa* исследуемые штаммы

проявляют низкую активность. Следует отметить, что многие штаммы молочнокислых бактерий не проявляют ингибиторную активность по отношению к плесневым грибам и дрожжам, максимальной антагонистической активностью обладают *L. casei* 32, *L. casei* 36, *L. fermentum* 10 и *L. plantarum* 24 (таблица 2).

Таблица 2.  
Антимикробный спектр действия криорезистентных молочнокислых бактерий

Table 2.

Antimicrobial spectrum of action of cryoresistant lactic acid bacteria

Тестовые штаммы Test-strains	Штаммы молочнокислых бактерий Strains of lactic acid bacteria														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Ингибирующий эффект, мм Inhibitory effect, mm														
<i>Staphylococcus aureus</i>	-	6	12	10	12	4	14	4	10	8	2	2	-	18	-
<i>Escherichia coli</i>	25	14	20	22	27	18	28	22	20	22	14	15	16	30	24
<i>Proteus vulgaris</i>	7	4	9	10	10	6	2	2	6	4	2	5	8	8	2
<i>Bacillus Subtilis</i>	14	16	18	18	25	23	21	19	20	24	15	18	18	11	12
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5	-	-	-	8	4	2	4	2	3	-	-	-	3	2
<i>Penicillium chrysogenum</i>	-	-	-	-	12	11	15	-	-	10	-	-	-	-	-
<i>Fusarium oxysporum</i>	-	-	8	-	10	10	16	-	-	8	-	-	-	6	-
<i>Aspergillus niger</i>	-	-	6	-	14	10	12	-	-	8	-	6	-	6	-
<i>Candida guilliermondii</i>	-	-	-	-	17	14	10	-	-	10	-	4	-	11	-

Оценка устойчивости молочнокислых бактерий к антибиотикам показала, что большинство штаммов проявляют устойчивость к неомицину, карбенициллину, канамицину и ристомицину, кроме того, штаммы *L. casei* 32, *L. casei* 36, *L. plantarum* 24 и *L. bavaricus* 6 проявляют резистентность к стрептомицину и метициллину. Установлено, что все исследуемые штаммы высокочувствительны к тетрациклину, бензилпенициллину, левомицетину, рифамицину, цефалексину и цефалотину, за исключением *L. fermentum* 24, который резистентен к бензилпенициллину, рифамицину. Штаммы *L. casei* 23, *L. plantarum* 1 и *L. brevis* 3 проявляют чувствительность к линкомицину, *L. plantarum* 1, *L. plantarum* 21, *L. fermentum* 12 – к доксицилину.

Результаты исследования протеолитической активности исследуемых штаммов (рисунок 2) показали, что в процессе ферментации

казеина наблюдается интенсивное снижение количества протеина относительно контроля, наиболее выраженные изменения характерны для штаммов *L. casei* 32, *L. casei* 36, *L. fermentum* 10, *L. acidophilum* 9, для данных молочнокислых бактерий степень гидролиза казеина составляет в среднем 75–80%. Наименьшую способность гидролизовать белки продемонстрировали штаммы *L. casei* 16, *L. plantarum* 1, *L. bavaricus* 6 степень гидролиза казеина данными лактобактериями составляет 45,2%, 32,8% и 36,7% соответственно. Аналогичные результаты были получены при оценке протеолитической активности исследуемых штаммов молочнокислых бактерий при ферментации альбумина, однако способность микроорганизмов гидролизовать данный белок ниже в среднем на 10–15% по сравнению со степенью протеолиза, продемонстрированной на казеине.

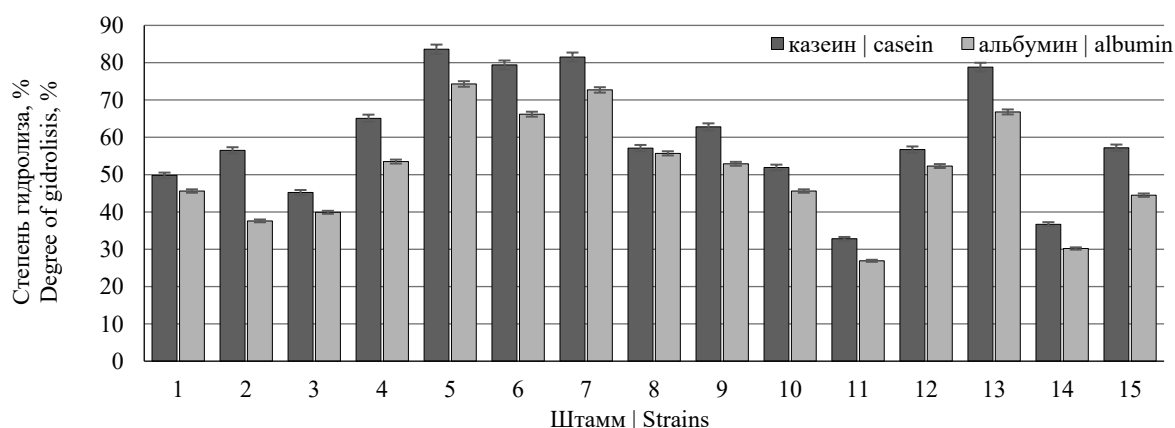


Рисунок 2. Степень гидролиза белков криорезистентными штаммами лактобактерий

Figure 2. Degree of protein hydrolysis by cryoresistant Lactobacillus strains

### Обсуждение

Анализ полученных результатов показывает, что по технологическим показателям все штаммы подходят для производственных целей, за исключением *L. brevis* 3, что подтверждают данные об изучении активности свёртывания обезжиренного молока (не более 8 ч), конечные значения pH среды и титруемой кислотности, высокие показатели жизнеспособных клеток (не менее  $10^9$  КОЕ/см<sup>3</sup>), качество молочного сгустка.

Установлено, наибольшей кислотоустойчивостью отличаются *L. acidophilum* и *L. bavaricus*, данные штаммы способны развиваться в кислой среде при pH = 2,0. Все штаммы развиваются при pH = 3,0, больший процент выживаемости у штаммов *L. bavaricus* 6 – 49%, *L. acidophilum* 9 – 41%, *L. fermentum* 10 – 36% и *L. fermentum* 13 – 34%. Значение pH = 9,2 не ингибирует рост и развитие тестируемых штаммов бактерий (процент жизнеспособных клеток 65–95%), наибольшей устойчивостью к щелочным значениям pH отличаются штаммы *L. plantarum* 24 и *L. brevis* 3 – 96% и 84% соответственно.

В результате проведенных исследований выявлены наиболее устойчивые к желчи штаммы – *L. bavaricus* 6, *L. casei* 32, *L. casei* 23, *L. plantarum* 24 и *L. plantarum* 21.

Штаммы *L. plantarum* 21, *L. bavaricus* 6, *L. fermentum* 24, *L. casei* 16 и *L. casei* 32 продемонстрировали достаточно высокий уровень выживаемости (более 30%) клеток при концентрации NaCl в среде культивирования 6,5%. Данные штаммы, за исключением *L. casei* 16, являются наиболее перспективными по показателю толерантности к фенолу, выживаемость клеток при дозировке фенола 0,4% превышает 30%.

В результате изучения спектров антибиотического действия криорезистентных молочнокислых бактерий выявлены штаммы, способные эффективно подавлять рост бактерий, мицелиальных грибов и дрожжей – *L. casei* 32, *L. casei* 36, *L. fermentum* 10 и *L. fermentum* 24.

Особую устойчивость к ряду антибиотиков проявляют три криорезистентных штамма молочнокислых бактерий – *L. casei* 32, *L. plantarum* 24 и *L. bavaricus* 6.

Анализ полученных данных по изучению влияния штаммов молочнокислых бактерий на

содержание продуктов гидролиза в модельных белковых системах свидетельствуют о высокой протеолитической способности культур *L. casei* 32, *L. casei* 36, *L. fermentum* 10, *L. acidophilum* 9, причем данные штаммы молочнокислых бактерий эффективно воздействует не только на казеин, но и на альбумин.

### Заключение

Результаты комплексного изучения функционально-технологических свойств штаммов молочнокислых бактерий показали, что все исследуемые штаммы могут быть использованы в пищевой промышленности, так как удовлетворяют главным технологическим требованиям к стартовым культурам ферментируемых продуктов питания. Четыре штамма молочнокислых бактерий – *L. bavaricus* 6, *L. casei* 32, *L. plantarum* 21 и *L. plantarum* 24 характеризуются как наиболее устойчивые к неблагоприятным факторам среды (таким как низкое значение pH, высокие концентрации желчи, NaCl и фенола), что служит основой для прогнозирования их пробиотических свойств, то есть способности сохранения ферментативной активности при прохождении через желудочно-кишечный тракт и приживаемости в кишечнике; три из которых – *L. bavaricus* 6, *L. casei* 32 и *L. plantarum* 24 проявляют наибольшую антибиотикоустойчивость и антагонистическую активность по отношению к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам. Кроме того, данные штаммы демонстрируют высокую протеолитическую активность, что позволяет сделать вывод о перспективности их применения в технологии ферментированных продуктов питания. Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать штаммы молочнокислых бактерий – *L. casei* 32, *L. bavaricus* 6 и *L. plantarum* 24 для дальнейшего использования в пищевой промышленности в технологии функциональных пищевых продуктов.

Представленные в данной статье результаты по оценке биотехнологического потенциала новых штаммов молочнокислых бактерий с криорезистентными свойствами в дальнейшем послужат для разработки консорциума новых стартовых заквасок на основе лактобактерий для хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов.

### Литература

- 1 Волкова Г.С., Куксова Е.В., Серба Е.М. Изучение производственных свойств отдельных штаммов молочнокислых бактерий для создания пробиотиков // Пищевая промышленность. 2020. № 3. С. 8-11. doi: 10.24411/0235-2486-2020-10024
- 2 Бегунова А.В., Рожкова И.В., Ширинова Т.И., Крысанова Ю.И. Потенциал молочнокислых бактерий в снижении уровня холестерина // Пищевая промышленность. 2020. №11. С. 12-15. doi:10.24411/0235-2486-2020-10119
- 3 Веснина А.Д., Просеков А.Ю., Козлова О.В., Курбанова М.Г., Козленко Е.А., Голубцова Ю.В. Разработка пробиотического консорциума для людей с онкологическими заболеваниями // Вестник ВГУИТ. 2021. №1 (87). С. 219-232. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-219-232


- 4 Волкова Г.С., Серба Е.М. Биотехнологические свойства закваски на основе консорциума промышленных штаммов молочнокислых бактерий // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 4(376). С. 73-77. doi:10.26297/0579-3009.2020.4.17
- 5 Хромова Н.Ю., Епишкина Ю.М., Хабибулина Н.В., Шакир И.В. и др. Поиск перспективных пробиотических штаммов лакто- и бифидобактерий в комбинации с оценкой витамин-В-продуцирующего потенциала для создания биообогащенных продуктов // Актуальная биотехнология. 2022. № 1. С. 204-207.
- 6 Kitaevskaya S.V., Ponomarev V.Y., Hasanova A.F., Romanova N.K. Biotechnological potential of new strains of lactic acid bacteria // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. V. 421. №. 5. P. 052018. doi:10.1088/1755-1315/421/5/052018
- 7 Sanlier N., Gokcen B.B., Sezgin A.C. Health benefits of fermented foods // Critical reviews in food science and nutrition. 2019. V. 59. №. 3. P. 506-527. doi: 10.1080/10408398.2017.1383355
- 8 Rajoka M.S.R., Wu Y.G., Zhao L.Q. Lactobacillus exopolysaccharides: New perspectives on engineering strategies, physiochemical functions, and immunomodulatory effects on host health // Trends in food science & technology. 2020. V. 103. P. 36-48. doi:10.1016/j.tifs.2020.06.003
- 9 Thumu S.C.R., Halami P.M. In vivo safety assessment of Lactobacillus fermentum strains, evaluation of their cholesterol-lowering ability and intestinal microbial modulation // Journal of the Science of Food Agriculture. 2020. № 100 (2). P. 705-713. doi:10.1002/jsfa.10071
- 10 Nikitina E., Petrova T., Vafina A., Ezhkova A. et al. Textural and functional properties of skimmed and whole milk fermented by novel *Lactiplantibacillus plantarum* AG10 strain isolated from silage // Fermentation. 2022. V. 8 (6). P. 290-296. doi:10.3390/fermentation8060290
- 11 Стоянова Л.Г., Дбар С.Д., Полянская И.С. Метабиотические свойства штаммов *Lactobacillus acidophilus*, входящих в комплексные закваски для производства пробиотических молочных продуктов // Биотехнология. 2022. Т. 38. № 1. С. 3-12. doi: 10.56304/S0234275822010070
- 12 Maske B.L., Pereira G.V., Vale A.S., Neto D.P. et al. A review on enzyme-producing lactobacilli associated with the human digestive process: From metabolism to application // Enzyme and Microbial Technology. 2021. V. 149. P. 109836. doi: 10.1016/j.enzymtec.2021.109836
- 13 Sun F., Hu Y., Yin X., Kong B., Qin L. Production, purification and biochemical characterization of the microbial protease produced by *Lactobacillus fermentum* R6 isolated from Harbin dry sausages // Process Biochemistry. 2020. V. 89. P. 37-45. doi: 10.1016/j.procbio.2019.10.029
- 14 Tagliazucchi D., Martini S., Solieri L. Bioprospecting for bioactive peptide production by lactic acid bacteria isolated from fermented dairy food // Fermentation. 2019. V. 5. №. 4. P. 96. doi:10.3390/fermentation5040096
- 15 Cao C.C., Feng M.Q., Sun J., Xu X.L. et al. Screening of lactic acid bacteria with high protease activity from fermented sausages and antioxidant activity assessment of its fermented sausages // CyTA - Journal of Food. 2019. V. 17. №. 1. P. 347-354 doi:10.1080/19476337.2019.1583687
- 16 Majzoobi M., Aghdam M.B.K., Eskandari M. H., Farahnaky A. Quality and microbial properties of symbiotic bread produced by straight dough and frozen part-baking methods // J. of Tex. St. 2019. V. 50(2). P. 165-171. doi:10.1111/jtxs.12386
- 17 Varmola E., Bedade D., Deshaware S. et al. Evaluation of baking conditions for frozen doughs // J. of Food Meas. and Char. 2019. V.13(4). P. 3307-3317. doi:10.1007/s11694-019-00253-x
- 18 Герасимова Э.О., Лабутина Н.В. Криогенные технологии в хлебопечении // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 1. С. 6-9. doi:10.26297/0579-3009.2019.1.1
- 19 Lancelot E., Fontaine J., Grua-Priol J., Le-Bail A. Effect of long-term storage conditions on wheat flour and bread baking properties // Food Chem. 2021. V. 61. P. 128902. doi:10.1016/j.foodchem.2020.128902
- 20 Китаевская С.В., Пономарев В.Я., Решетник О.А. Оценка протеолитической активности новых штаммов лактобацилл с криорезистентными свойствами // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. № 1. С. 76-86. doi:10.21285/2227-2925-2022-12-1-76-86
- 21 Liu A., Xu R., Zhang S. et al. Antifungal mechanisms and application of lactic acid bacteria in bakery products // Front. Microbiol. 2022. V. 13. P. 398-412. doi:10.3389/fmicb.2022.924398


## References


- 1 Volkova G.S., Kuksova E.V., Serba E.M. Study of production properties of individual strains of lactic acid bacteria for probiotics. Food processing industry. 2020. no. 3. pp. 8-11. doi:10.24411/0235-2486-2020-10024. (in Russian).
- 2 Begunova A.V., Rozhkova I.V., Shirshova T.I., Krysanova Ju.I. The potential of lactic acid bacteria in cholesterol level reduction. Food processing industry. 2020. no. 11. pp. 12-15. (in Russian).
- 3 Vesnina A.D., Prosekov A.Yu., Kozlova O.V., Kurbanova M.G. et al. Development of a probiotic consortium for people with cancer. Proceedings of VSUET. 2021. no. 1 (87). pp. 219-232. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-219-232 (in Russian).
- 4 Volkova G.S., Serba E.M. Biotechnological properties of starter culture on based a consortium of industrial strains of lactic acid bacteria. Proceedings of Universities. Food technology. 2020. no. 4(376). pp. 73-77. doi:10.26297/0579-3009.2020.4.17 (in Russian).
- 5 Khromova N.Yu., Epishkina Y.M., Khabibulina N.V., Shakir I.V., Panfilov V.I. Search for promising probiotic strains of lacto- and bifidobacteria in combination with an assessment of vitamin-B-producing potential for the creation of bio-enriched products. Topical biotechnology. 2022. no. 1. pp. 204-207. (in Russian).
- 6 Kitaevskaya S. V., Ponomarev V.Y., Hasanova A.F., Romanova N.K. Biotechnological potential of new strains of lactic acid bacteria. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. vol. 421(1). no. 052018. doi:10.1088/1755-1315/421/5/052018
- 7 Sanlier N., Gokcen B.B., Sezgin A.C. Health benefits of fermented foods. Critical reviews in food science and nutrition. 2019. vol. 59. no. 3. pp. 506-527. doi: 10.1080/10408398.2017.1383355
- 8 Rajoka M.S.R., Wu Y.G., Zhao L.Q. Lactobacillus exopolysaccharides: New perspectives on engineering strategies, physiochemical functions, and immunomodulatory effects on host health. Trends in food science & technology. 2020. vol. 103. pp. 36-48. doi:10.1016/j.tifs.2020.06.003


- 9 Thumu S.C.R., Halami P.M. In vivo safety assessment of *Lactobacillus fermentum* strains, evaluation of their cholesterol-lowering ability and intestinal microbial modulation. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 2020. no. 100 (2). pp. 705-713. doi:10.1002/jsfa.10071
- 10 Nikitina E., Petrova T., Vafina A., Ezhkova A. et al. Textural and functional properties of skimmed and whole milk fermented by novel *Lactiplantibacillus plantarum* AG10 strain isolated from silage. *Fermentation*. 2022. vol. 8 (6). pp. 290-296. doi:10.3390/fermentation8060290
- 11 Stoyanova L.G., Dbar S.D., Polyanskaya I.S. Metabiotic properties of *Lactobacillus acidophilus* strains included in complex starter cultures for probiotic dairy products. *Biotechnology*. 2022. vol. 38. no. 1. pp. 3-12. doi: 10.56304/S0234275822010070 (in Russian).
- 12 Maske B.L., Pereira G.V., Vale A.S., Neto D.P. et al. A review on enzyme-producing lactobacilli associated with the human digestive process: From metabolism to application. *Enzyme and Microbial Technology*. 2021. vol. 149. pp. 109836. doi: 10.1016/j.enzymtec.2021.109836
- 13 Sun F., Hu Y., Yin X., Kong B. et al. Production, purification and biochemical characterization of the microbial protease produced by *Lactobacillus fermentum* R6 isolated from Harbin dry sausages. *Process Biochemistry*. 2020. vol. 89. pp. 37-45. doi:10.1016/j.procbio.2019.10.029
- 14 Tagliazucchi D., Martini S., Solieri L. Bioprospecting for bioactive peptide production by lactic acid bacteria isolated from fermented dairy food. *Fermentation*. 2019. vol. 5. no. 4. pp. 96. doi:10.3390/fermentation5040096
- 15 Cao C.C., Feng M.Q., Sun J., Xu X.L. et al. Screening of lactic acid bacteria with high protease activity from fermented sausages and antioxidant activity assessment of its fermented sausages. *CyTA – Journal of Food*. 2019. vol. 17. no. 1. pp. 347-354. doi:10.1080/19476337.2019.1583687
- 16 Majzoobi M., Aghdam M.B.K., Eskandari M.H., Farahnaky A. Quality and microbial properties of symbiotic bread produced by straight dough and frozen part-baking methods. *J. of Tex. St.* 2019. vol. 50(2). pp. 165-171. doi:10.1111/jtxs.12386
- 17 Varmola E., Bedade D., Deshaware S. et al. Evaluation of baking conditions for frozen doughs. *J. of Food Meas. and Char.* 2019. vol. 13(4). pp. 3307-3317. doi:10.1007/s11694-019-00253-x
- 18 Gerasimova E.O., Labutina N.V. Cryogenic technologies in bakery. *Proceedings of Universities. Food technology*. 2019. no. 1. pp. 6-9. doi:10.26297/0579-3009.2019.1.1 (in Russian).
- 19 Lancelot E., Fontaine J., Grua-Priol J., Le-Bail A. Effect of long-term storage conditions on wheat flour and bread baking properties. *Food Chem.* 2021. vol. 61. pp. 128902. doi:10.1016/j.foodchem.2020.128902
- 20 Kitaevskaya S.V., Ponomarev V.Y., Reshetnik O.A. Evaluation of the proteolytic activity of new cryoresistant *Lactobacillus* strains. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022. vol. 12. no. 1. pp. 76-86. doi:10.21285/2227-2925-2022-12-1-76-86 (in Russian).
- 21 Liu A., Xu R., Zhang S. et al. Antifungal mechanisms and application of lactic acid bacteria in bakery products. *Front. Microbiol.* 2022. vol. 13. pp. 398-412. doi:10.3389/fmicb.2022.924398.


#### Сведения об авторах

**Светлана В. Китаевская** к.т.н., доцент, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, kitaevskayas@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-2211-8742>

**Ольга А. Решетник** д.т.н., профессор, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, roa.olga@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-5322-0769>

**Дарья Р. Камартинова** аспирант, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, darya.kamartdinova@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-7561-2795>

**Анна Н. Волостнова** к.с.-х.н., доцент, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, volostnova.anna@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-4837-0732>

**Наталья К. Романова** к.т.н., доцент, кафедра технологии пищевых производств, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия, rnk5325@yandex.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-6334-2257>

#### 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 V. Kitaevskaya** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food production technology department, Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, kitaevskayas@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-2211-8742>

**Olga A. Reshetnik** Dr. Sci. (Engin.), professor, food production technology department, Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, roa.olga@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-5322-0769>

**Darya R. Kamartdinova** graduate student, food production technology department, Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, darya.kamartdinova@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-7561-2795>

**Anna N. Volostnova** Cand. Sci. (Agr.), associate professor, food production technology department, Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, volostnova.anna@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-4837-0732>

**Natalia K. Romanova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food production technology department, Kazan National Research Technological University, K. Marx St., 68, Kazan, 420015, Russia, rnk5325@yandex.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-6334-2257>

#### 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 12/10/2023	После редакции 30/10/2023	Принята в печать 22/11/2023
Received 12/10/2023	Accepted in revised 30/10/2023	Accepted 22/11/2023

## In vitro release studies of rilpivirine from in situ forming polymeric implants in buffer solution and in a gel phantom of muscle tissue

Yulia V. Ulianova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ulianova.i.v@muctr.ru">ulianova.i.v@muctr.ru</a>	 0000-0002-5400-0853
Yulia V. Ermolenko	<sup>1</sup>	<a href="mailto:uve2007@ya.ru">uve2007@ya.ru</a>	 0000-0003-3966-3066
Lyudmila V. Vanchugova	<sup>2</sup>	<a href="mailto:vanchugova.lyudmila@ya.ru">vanchugova.lyudmila@ya.ru</a>	 0000-0003-4195-2609
Anton V. Mityukov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:antmtk@ips.ac.ru">antmtk@ips.ac.ru</a>	 0000-0003-2230-6177
Svetlana E. Gelperina	<sup>1</sup>	<a href="mailto:svetlana.gelperina@gmail.com">svetlana.gelperina@gmail.com</a>	 0000-0003-1113-6715

<sup>1</sup> D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya square 9, Moscow, 125047, Russia

<sup>2</sup> A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis Russian Academy of Sciences, Leninsky prospect 29, Moscow, 119991, Russia

**Abstract.** Development of *in situ* forming implants (ISFI) based on PLGA polymers is one of the most promising approaches to long-acting injectables. Evaluation of the drug release rate from such depot formulations requires methods that most closely simulate *in vivo* conditions. Gel phantoms mimic the elastic properties of muscle tissue and appear to be a promising replacement for conventional methods using physiologically relevant buffer solutions. Accordingly, the aim of the study was to select the optimal composition for the gel phantom formation and evaluate the effect of the phantom matrix on the release rate of rilpivirine used as a model drug from the PLGA ISFI. According to the results of the study, a 1% agarose gel was the best suited for a tissue phantom preparation and implant formation. It was also shown that the release profile of rilpivirine from the ISFI matrix depended on how the implant was formed (in a gel or freely in buffer). In the case of a phantom, the structure of the implant was less porous and retained its shape for 28 days of incubation at 37 °C. During this period, the ISFI formed in an agarose gel released considerably less rilpivirine compared to the ISFI formed without gel (11% vs 80%).

**Keywords:** ISFI, PLGA, Drug release, Agarose gel, Polyacrylamide gels.

### Introduction

*In situ* forming implants (ISFI) occupy a special place among the various injectable depot formulation, due to their important advantages: simple manufacturing technology (a few steps, simple and inexpensive equipment) and less invasive administration procedure based on introducing a liquid biodegradable and biocompatible composition through a small needle thus avoiding microsurgery. Phase-sensitive ISFI is a low viscous solution comprising both the drug and the polymer in a biocompatible water-miscible organic solvent such as N-methylpyrrolidone (NMP), which forms a solid implant following intramuscular or subcutaneous injection as a result of the phase inversion process [1-5]. To date such ISFIs have been used successfully in commercial applications for the treatment of various diseases: prostate cancer (Eli-gard®), central precocious puberty (Fensolvi®), opioid dependence (Sublocade™), schizophrenia (Perseris™). One of the main parameters of depot formulations is the drug release rate from the carrier matrix. Nevertheless, current methods *in vitro* employed for evaluation of the release kinetics do not always substitute for the animal experiments [6]. For example, it was shown that not only the chemical composition of the injection site plays

an important role in the drug release from ISFI but also the physical structure and tissue stiffness are important [7]. Thus, the use of hydrogel phantoms that mimic muscle tissue to simulate *in vivo* conditions and to improve the *in vitro-in vivo* correlations (IVIVC) was proposed in some studies [6, 8, 9].

Therefore, one of the objectives of the present study was to choose a composition for the formation of a gel phantom that satisfy the following necessary requirements: (1) elastic modulus of the gel must correspond to the elastic modulus of muscle tissue, which is in the range from 15 to 34 kPa [10], (2) rapid gelation (or easy sample preparation), (3) possibility of introducing a viscous polymer solution into the phantom and (4) formation of an implant inside the gel. Another objective of the study was to evaluate the influence of the gel phantom on the drug release rate from the ISFI using rilpivirine as a model drug.

### Materials and Methods

**Chemicals.** Rilpivirine (RPV) was obtained from Lomonosov Moscow State University, Russia; poly(lactic-co-glycolic acid) (PLGA, Pura-sorb® PDLG 5004, LA/GA ratio of 50:50, ester end-capped,  $\eta = 0.41$  dL/g, Corbion, The Netherlands); N-methyl-2-pyrrolidone (NMP, Sigma, Germany); buffer solutions were prepared using PBS tablets

#### Для цитирования

Ульянова Ю.В., Ермоленко Ю.В., Ванчугова Л.В., Митюков А.В., Гельперина С.Э. Изучение высвобождения рилпивирина из *in situ* формирующихся полимерных имплантатов в буферном растворе и в гелевом фантоме, имитирующем мышечную ткань // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 70–75. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-70-75

#### For citation

Ulianova Yu.V., Ermolenko Yu.V., Vanchugova L.V., Mityukov A.V., Gelperina S.E. In vitro release studies of rilpivirine from *in situ* forming polymeric implants in buffer solution and in a gel phantom of muscle tissue. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 70–75. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-70-75

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

(MP Biomedicals, LLC, USA); polysorbate 20 (Tween 20®) and trifluoroacetic acid (TFA) suitable for HPLC (Sigma, USA); acrylamide (AAM) and N, N'-methylenebis(acrylamide) (MBA) (Acros Organics, Belgium), ammonium persulfate (APS) (Applchem, Germany); tetramethylethylenediamine (TEMED) and agarose (gel point, 34.5–37.5 °C) (Sigma, USA); acetonitrile (HPLC grade, Chemlab, Belgium).

**Preparation of ISFI formulations.** RPV (12 mg) was dissolved in 12 mL of NMP. Then, PLGA (440 mg) was added to this solution. The components were dissolved by continuous mixing at room temperature to form homogenous mixtures. The final drug loading of RPV in RPV-polymer solution was 2.7% (w/w PLGA).

**High-pressure liquid chromatography (HPLC).** The assay of RPV was performed using a reverse phase HPLC method. The HPLC analysis was carried out with a LC-2030C 3D Plus HPLC system (SHIMADZU, Japan) equipped with a Photodiode Array (PDA) Plus Detector, a C18 pre-column and a Purospher® STAR RP-18 endcapped column (120 • 4 mm, 3 µm). The mobile phase consisted of 0.1% TFA in water (solvent A) and 0.1% TFA in acetonitrile (solvent B) delivered at a flow rate of 1 mL/min. A gradient elution was applied from 10% to 60% solvent B at 25 min. Column oven was set at 35 °C, injection volume was 20 µL, and the analysis was carried out at 280 nm.

**Phantom preparation and characterization.** Polyacrylamide gels PAA\_1, PAA\_2, and PAA\_3a were obtained by radical copolymerization of AAM (31%, 32%, and 11%) and MBA as a crosslinking agent (2.7%, 1.4%, 20% relative to AAM concentration) with redox initiation using TEMED (0.02%, 0.02, 0.1%) and APS (0.02%; 0.02%, 0.1%) in PBS solution followed by incubation of the mixture at room temperature for 24 h. The resulting hydrogels were washed with water for 3 days (water was changed three times per day). Cryogel PAA\_3b was synthesized according to the procedure from [11]. A solution of AAM (11%), MBA (20% to AAM concentration) and TEMED (0.1%) in phosphate buffer (pH 7.4) was cooled to 7 °C, then an APS solution (0.1%) cooled to 7 °C was added to initiate polymerization. The solution was then quickly poured into a mold and placed in a – 25 °C freezer for 24 h. Young's modulus of phantoms was determined by mechanical testing using a RheoStress RS600 rheometer (Thermo HAAKE, USA). The microstructure of gels and ISFI was evaluated by SEM (JSM-6510LV microscope, JEOL Ltd, Japan).

**Incorporation of the ISFI formulations into agarose gel.** 1% (w/v) agarose gel was produced as described in [12]. Briefly, 2 ml of a 1% (w/v) gel solution was transferred to the mold and cooled on ice. Before the phase transition of agarose was complete, 0.2 ml of the RPV-polymer solution was injected into a cavity made in the upper layer. A warm 1% agarose solution was carefully added on the surface of the solution after 30 sec. The resulting phantom was cooled at 4 °C for 10 min.

**Evaluation of RPV release.** The release medium consisted of 2% w/v Tween 20 in 0.15 M PBS at pH 7.4. The release of RPV from ISFI formulations was evaluated by injecting 0.2 ml of the RPV-polymer solution or by placing agarose phantom with ISFI into 150 ml of release medium and further incubation under the sink conditions at 37 °C with continuous shaking (200 rpm, orbital shaker-incubator ES-20, Biosan, Latvia). Then 500 µL samples were taken at predetermined time intervals (30 min, 1, 2, 3, 5, 7, and 24 h, and then on daily basis). The concentration of the released RPV was measured by HPLC. All experiments were performed in triplicate.

**Hydrolytic degradation of ISFI.** The kinetics of ISFI degradation was studied using the capillary electrophoresis (CE) system CAPEL-105 M (Lumex, Russia) equipped with a spectrophotometric detector and a quartz capillary tube (i.d. 75 µm, e.l. 50 cm, t.l. 60 cm) and Elforun software (Lumex, Russia). After ISFI formation, the aliquots were taken at predetermined time intervals (1, 2, 3 day, etc.). All products of the hydrolytic degradation in the supernatants (100 µL) were further hydrolyzed by addition of 10 ml of 1 N NaOH, and the resulting concentration of lactic acid was measured by CE at 254 nm as described in [13]. All experiments were performed in triplicate.

## Results

### Polymer phantoms formation

Polyacrylamide gels were prepared by varying the concentration of AAM and MBA in phosphate buffer (PAA\_1, PAA\_2, and PAA\_3a) and by a cryogelation technique (PAA\_3b). The appearance and shape of polyacrylamide gels are shown in Figure 1A. The phantoms differed in the Young's modulus (6.13 kPa, 8.6 kPa, 8.9 kPa, and 9.59 kPa for PAA\_1, PAA\_2, PAA\_3a, and PAA\_3b, respectively) and the degree of porosity (Fig.1B). 1% agarose gel with an elastic modulus of 11.38 kPa was also obtained.

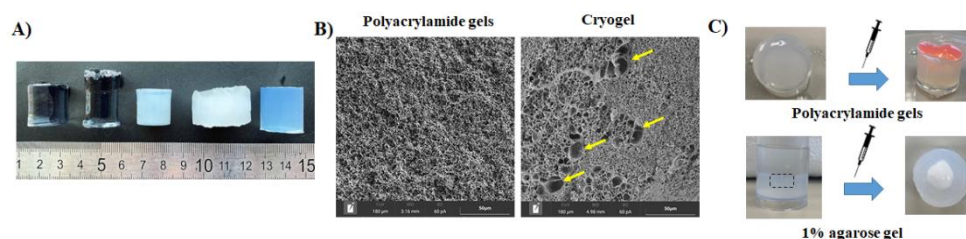


Figure 1. A) Appearance of the phantoms (from left to right): PAA\_1, PAA\_2, PAA\_3a, PAA\_3b and agarose gel; B) SEM image of standard polyacrylamide gels (left) and cryogel phantoms (right); C) Introduction of the PLGA solution into the gel. Compiled by the authors

### ISFI formation in polymer phantoms

Rhodamine 6G was added to the PLGA solution for visual assessment of the implant formation in the phantom. It was found that the polymer solution was introduced only into the agarose gel during its gelation. In all other cases, when the polymer composition was injected through the 18G needle, the viscous solution came out through the hole from the needle (Fig.1C)

### In vitro RPV release from the ISFI

The ISFIs formed without a phantom showed a triphasic RPV release profile: burst release during the first 24 h, then from 1 to 18 days

a period of a slower RPV release (lag-phase), and then rapid RPV release period or the second burst (after 20 days) (Fig.2A). The initial 24-h release of RPV was  $24.43 \pm 1.73\%$ , whereas after 28 days of incubation the ISFI released  $81.76 \pm 6.16\%$  of RPV. Slower RPV-release from the ISFI formed in agarose gel, compared to ISFI formed without a phantom was observed in the gel conditions (Fig.2A). The overall release at the end of the 28-day study was  $11.02 \pm 0.34\%$ . Implants formed without a phantom visually had a larger surface area and a large volume, and had a distinct macroporous structure (Fig.2B).

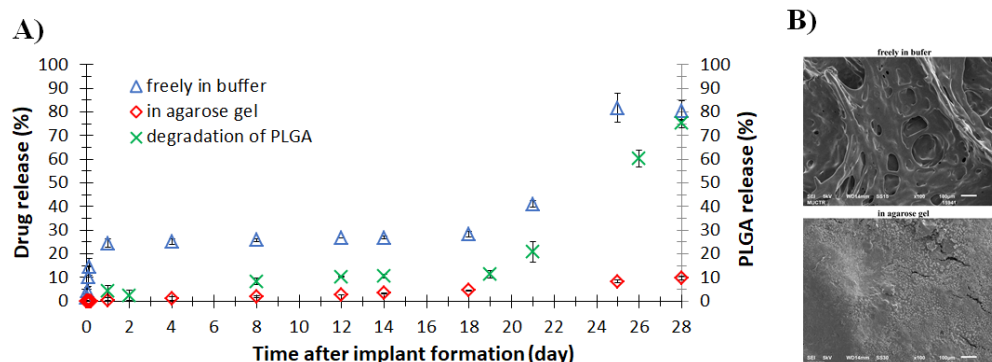


Figure 2. A) Release profiles of RPV from ISFI (n = 3) and hydrolytic degradation profiles of PLGA from ISFI formed freely in buffer (n = 3); B) SEM images highlighting the difference in microstructure for ISFI formed freely in buffer and in an agarose phantom. Compiled by the authors

### Discussion

Polyacrylamide and agarose gels were used to phantoms phormation. All gels participating in the experiment were characterized by elasticity in the range from 6 to 11 kPa. The cryogels were characterized by macropores [11]. However, according to the SEM images (Fig. 1B) the microstructure of standard gels and cryogels was similar: all gels had highly developed porosity with a pore size of  $\sim 3 \mu\text{m}$ . The cryogel contained also macropores, but in small amounts. We assume that the absence of obvious differences in the structure is due to the high content of monomers in the reaction solution. Despite the porosity of the gels,

it was impossible to inject the polymer solution into the phantom. However, rapid gelation of the agarose gel (15 min), in comparison with polyacrylamide gels (24 h), allowed for a cavity formation in the phantom for the introduction of a polymer solution. Another disadvantage of polyacrylamide gels is the need for thorough continuous washing to remove toxic acrylamide. Therefore, a 1% agarose gel was chosen as a model phantom to evaluate its effect on the RPV release rate from ISFI.

The use of hydrogels as a tissue model for evaluation of the drug release from ISFI has been described previously [8, 14-17]. In these studies, the hydrogel completely replaced the biorelevant

medium. In our study, the main release medium was a buffer solution, into which a cylindrical phantom with an implant was placed. Due to this approach it was possible to avoid disruption of the gel structure during sampling, to replace the release medium if necessary, and to avoid an additional step of sample preparation for the analysis of the released RPV. Importantly, the ISFI formed without phantom (freely in buffer) and in agarose phantom demonstrated the distinct drug release profiles (Fig.2A). Thus, after 28 days of incubation the ISFI formed in a 1% agarose gel released ~11% of RPV as compared with 80% of RPV released without phantom. As previously observed [18], in bulk release models the mass transfer into the release medium is carried out mainly due to convective transport, while in the gel phantom mass transfer is controlled by diffusion as *in vivo*. Therefore, the RPV release rate in the gel phantom is significantly lower. It is important that when ISFI formed without a phantom, the RPV release profile from the implant is characterized by two burst-effects (Fig. 2A). A first burst release occurs as a result of the drug desorption and diffusion from the surface [19, 20]. This burst-effect is absent in the release profiles of RPV from ISFI formed in an agarose gel. Feasibly, it disappears due to the slow diffusion of RPV in the gel phase. The second burst-release of RPV is significant (from 30 to 80% of released RPV) and related to the onset of "erosion" of the polymer matrix and faster degradation of PLGA (Fig.2A). It should be noted that morphological differences in the structure were observed for the two studied implants. The ISFI formed in an agarose gel initially had a less porous and denser microstructure

(Fig. 2B), which could inhibit the penetration of water into the matrix, thereby slowing down the hydrolysis rate of polymer chains and the RPV release from the implant. It may be an additional explanation for the absence of the second burst-effect in a release profile of RPV from the ISFI formed in the agarose gel. The ISFI, formed without phantom, being more porous, quickly swelled, lost their shape, and began to disintegrate, which complicates a long-term experiment in the study of the kinetics release from depot formulations.

## Conclusion

The phantom based on 1% agarose gel is the best suited for simulating muscle tissue to study the RPV release profile from the ISFI. The release profiles of RPV from ISFI formed in a phantom was characterized by the absence of burst-effects observed under the typical release conditions using liquid media. In addition, the ISFI formed in an agarose gel exhibited significantly slower release of RPV (11% vs 80% during 28 days), which is explained by the fact that in this case the RPV release was controlled by diffusion transport, as *in vivo*. Another advantage of gel tissue phantoms is their ability to maintain the ISFI structure during continuous experiments.

## Acknowledgments

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project FSSM-2022-0003).

The authors gratefully acknowledge the gift of Purasorb® PDLG 5004 by Corbion N.V.

The authors are grateful to Arina Zaikina for SEM images (LLC "Teskan", St. Petersburg).


## References

- 1 Ibrahim T.M., El-Megrab N.A., El-Nahas H.M. Optimization of injectable PLGA in-situ forming implants of antipsychotic risperidone via Box-Behnken Design. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2020. vol. 58. pp. 101803.
- 2 Ibrahim T.M., El-Megrab N.A., El-Nahas H.M. An overview of PLGA in-situ forming implants based on solvent exchange technique: effect of formulation components and characterization. *Pharmaceutical Development and Technology*. 2021. vol. 26. no. 7. pp. 709-728.
- 3 Muddineti O. S., Omri A. Current trends in PLGA based long-acting injectable products: The industry perspective. *Expert Opinion on Drug Delivery*. 2022. vol. 19. no. 5. pp. 559-576.
- 4 Pandya A., Vora L., Umeyor C., Surve D. et al. Polymeric in situ forming depots for long-acting drug delivery systems. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2023. P. 115003. doi: 10.1016/j.addr.2023.115003
- 5 Wang X., Burgess D.J. Drug release from in situ forming implants and advances in release testing. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2021. vol. 178. pp. 113912. doi: 10.1016/j.addr.2021.113912
- 6 Kožák J., Rabišková M., Lamprecht A. In-vitro drug release testing of parenteral formulations via an agarose gel envelope to closer mimic tissue firmness. *International Journal of Pharmaceutics*. 2021. vol. 594. pp. 120142. doi: 10.1016/j.ijpharm.2020.120142
- 7 Patel R.B., Solorio L., Wu H., Krupka T. et al. Effect of injection site on in situ implant formation and drug release in vivo. *Journal of controlled release*. 2010. vol. 147. № 3. pp. 350-358. doi: 10.1016/j.jconrel.2010.08.020
- 8 Sun Y., Jensen H., Petersen N.J., Larsen S.W. et al. Concomitant monitoring of implant formation and drug release of in situ forming poly (lactide-co-glycolide acid) implants in a hydrogel matrix mimicking the subcutis using UV-vis imaging. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*. 2018. vol. 150. pp. 95-106. doi: 10.1016/j.jpba.2017.11.065
- 9 Klose D., Azaroual N., Siepmann F., Vermeersch G. et al. Towards more realistic in vitro release measurement techniques for biodegradable microparticles. *Pharmaceutical research*. 2009. vol. 26. pp. 691-699.
- 10 Mathur A.B., Collinworth A.M., Reichert W.M., Kraus W.E. et al. Endothelial, cardiac muscle and skeletal muscle exhibit different viscous and elastic properties as determined by atomic force microscopy. *Journal of biomechanics*. 2001. vol. 34. no. 12. pp. 1545-1553. doi: 10.1016/S0021-9290(01)00149-X

- 11 Lozinsky V.I. Cryogels on the basis of natural and synthetic polymers: preparation, properties and application. *Russian Chemical Reviews*. 2002. vol. 71. no. 6. pp. 489-511. doi: 10.1070/RC2002v071n06ABEH000720
- 12 Solorio L., Babin B.M., Patel R.B., Mach J. et al. Noninvasive characterization of in situ forming implants using diagnostic ultrasound. *Journal of Controlled Release*. 2010. vol. 143. no. 2. pp. 183-190. doi: 10.1016/j.jconrel.2010.01.001
- 13 Kumskova N., Ermolenko Y., Osipova N., Semyonkin A. et al. How subtle differences in polymer molecular weight affect doxorubicin-loaded PLGA nanoparticles degradation and drug release. *Journal of microencapsulation*. 2020. vol. 37. no. 3. pp. 283-295.
- 14 Ye F., Larsen S.W., Yaghmur A., Jensen H. et al. Drug release into hydrogel-based subcutaneous surrogates studied by UV imaging. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*. 2012. vol. 71. pp. 27-34. doi: 10.1016/j.jpba.2012.07.024
- 15 Li Z., Mu H., Larsen S.W., Jensen H. et al. An in vitro gel-based system for characterizing and predicting the long-term performance of PLGA in situ forming implants. *International Journal of Pharmaceutics*. 2021. vol. 609. pp. 121183. doi: 10.1016/j.ijpharm.2021.121183
- 16 Bassand C., Verin J., Lamatsch M., Siepmann F., et al. How agarose gels surrounding PLGA implants limit swelling and slow down drug release. *Journal of Controlled Release*. 2022. vol. 343. pp. 255-266. doi: 10.1016/j.jconrel.2022.01.028
- 17 Lefol L.A., Bawuah P., Zeitler J.A., Verin J. et al. Drug release from PLGA microparticles can be slowed down by a surrounding hydrogel. *International Journal of Pharmaceutics: X*. 2023. vol. 6. pp. 100220. doi: 10.1016/j.ijpx.2023.100220
- 18 Larsen C., Larsen S.W., Jensen H., Yaghmur A. et al. Role of in vitro release models in formulation development and quality control of parenteral depots. *Expert opinion on drug delivery*. 2009. vol. 6. №. 12. pp. 1283-1295. doi: 10.1517/17425240903307431
- 19 Ulianova Y., Ermolenko Y., Tkachenko S., Trukhan V. et al. Tuning the release rate of rilpivirine from PLGA-based in situ forming implants. *Polymer Bulletin*. 2023. vol. 80. no. 10. pp. 11401-11420.
- 20 Hopkins K.A., Vike N., Li X., Kennedy J. et al. Noninvasive characterization of in situ forming implant diffusivity using diffusion-weighted MRI. *Journal of Controlled Release*. 2019. vol. 309. pp. 289-301. doi: 10.1016/j.jconrel.2019.07.019

#### Information about authors


**Yulia V. Ulianova** Cand. Sci. (Chem.), assistant, chemistry and technology of biomedical preparations department, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya square 9, Moscow, 125047, Russia, ulianova.i.v@muctr.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5400-0853>


**Yulia V. Ermolenko** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and technology of biomedical preparations department, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya square 9, Moscow, 125047, Russia, uve2007@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3966-3066>


**Lyudmila V. Vanchugova** Cand. Sci. (Chem.), leading researcher, laboratory of chemistry of polyelectrolytes and biomedical polymers, A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis Russian Academy of Sciences, Leninsky prospect 29, Moscow, 119991, Russia, vanchugova.lyudmila@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4195-2609>

**Anton V. Mityukov** Cand. Sci. (Chem.), junior researcher, laboratory of polymer rheology, A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis Russian Academy of Sciences, Leninsky prospect 29, Moscow, 119991, Russia, antmtk@ips.ac.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2230-6177>

**Svetlana E. Gelperina** Dr. Sci. (Chem.), professor, chemistry and technology of biomedical preparations department, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya square 9, Moscow, 125047, Russia, svetlana.gelperina@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-1113-6715>

#### 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.

---

Received 12/10/2023

Accepted in revised 09/11/2023

Accepted 27/11/2023

---

## Изучение высвобождения рилпивирин из in situ формирующихся полимерных имплантатов в буферном растворе и в гелевом фантоме, имитирующем мышечную ткань

**Аннотация.** Разработка in situ формирующихся имплантатов на основе сополимеров молочной и гликолевой кислот (СМГК) является одним из наиболее перспективных подходов при создании инъекционных лекарственных форм длительного действия. При этом, для оценки скорости высвобождения лекарственного вещества из таких депо-форм требуются методы, которые способны наиболее точно моделировать условия in vivo. Гелевые фантомы, имитирующие эластичные свойства мышечной ткани, могут стать многообещающей альтернативой традиционным методам изучения высвобождения, использующим в качестве среды физиологически значимые буферные растворы. Так, целью исследования был выбор оптимального состава гидрогеля, подходящего для использования в качестве фантома, и оценка влияния фантомной матрицы на скорость высвобождения рилпивирин, используемого в качестве модельного вещества, из СМГК in situ имплантатов. По результатам исследования установлено, что для получения тканевого фантома и формирования в нем имплантата лучше всего подходил 1 % агарозный гель. Также было показано, что профиль высвобождения рилпивирин из in situ формирующихся имплантатов зависел от того, каким образом был сформирован имплантат (в геле или свободно в буфере). В случае формирования имплантата в гидрогелевом фантоме структура имплантата была менее пористой и сохраняла форму в течение 28 дней инкубации при 37 °С. В течение этого периода имплантат, сформированный в агарозном геле, высвобождал значительно меньшее количество рилпивирин по сравнению с имплантатом, сформированным без геля (11 % против 80 % рилпивирин).

**Ключевые слова:** in situ формирующиеся имплантаты, сополимер молочной и гликолевой кислот, высвобождение лекарственного вещества, агарозный гель, полиакриламидный гель.


**Юлия В. Ульянова** к.х.н., ассистент, кафедра химии и технологии биомедицинских препаратов, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Миусская площадь 9, г. Москва, 125047, Россия, ulianova.i.v@muctr.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5400-0853>


**Людмила В. Ванчугова** к.х.н., ведущий научный сотрудник, лаборатория химии полиэлектролитов и медико-биологических полимеров, Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук, Ленинский пр. 29, г. Москва, 119991, Россия, vanchugowa.lyudmila@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4195-2609>

**Светлана Э. Гельперина** д.х.н., профессор, кафедра химии и технологии биомедицинских препаратов, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Миусская площадь 9, г. Москва, 125047, Россия, svetlana.gelperina@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-1113-6715>




**Юлия В. Ермоленко** к.х.н., доцент, кафедра химии и технологии биомедицинских препаратов, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Миусская площадь 9, г. Москва, 125047, Россия, uve2007@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3966-3066>

**Антон В. Митюков** к.х.н., младший научный сотрудник, лаборатория реологии полимеров, Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук, Ленинский пр. 29, г. Москва, 119991, Россия, antmtk@ips.ac.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2230-6177>

## Active packaging material based on biodegradable polymer

Inna A. Zagidullina <sup>1</sup>	<a href="mailto:zagidullina_inna@mail.ru">zagidullina_inna@mail.ru</a>	 0000-0002-5736-6957
Alina A. Guzhova <sup>1</sup>	<a href="mailto:alina_guzhova@mail.ru">alina_guzhova@mail.ru</a>	 0000-0003-4354-8984
Elena V. Perushkina <sup>1</sup>	<a href="mailto:perushkina_elena@mail.ru">perushkina_elena@mail.ru</a>	 0000-0003-1403-364X

<sup>1</sup> Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

**Abstract.** Modern trends in processing, storage and packaging of food products are aimed at preserving the native properties of raw materials, ensuring hygienic safety, modern design and properties of the packaging material intended for the consumer. Pasteurized milk production includes following stages - normalization, heat treatment, packing and packaging, at which it is important to preserve the quality of the finished dairy product, that is why polymeric containers are used for most dairy products. The research was aimed to develop polymeric packaging for milk, characterized by additional material functions and capable of biological degradation after use. Polylactide with the introduction of an inert filler was chosen as a promising packaging material. The authors have produced electret films based on polylactide with the introduction of 2, 4 and 6% talc. Polarization of the samples was carried out by means of corona discharge on a unit with a square needle electrode with an area of 49 cm<sup>2</sup>. Increasing the talc content in the composition of samples contributed to the reduction of mechanical characteristics of materials. It was found that the introduction of talc into polylactide increases the electret properties of the material, which is based on the occurrence of additional traps of injected charge carriers. The developed polymeric material was tested using cow's milk industrially pasteurized at 74-76°C. Studies were conducted to evaluate the effect of electret polylactide film on acidity and microflora composition of pasteurized milk during storage at 37°C for 48 hours. In the presence of active packaging material, the formation of a dense milk clot and an increase in the acidity of the product were observed during the milk fermentation.

**Keywords:** polylactic acid, corona electret, active packaging, milk.

### Introduction

Nowadays polymer packaging is very popular and its production grows rapidly. Demand for polymer packaging is caused by its attractive appearance, easy handling, high performances, relatively low price, good physical and mechanical properties, broad choice of components and additives that impart required properties to a polymer.

However, polymer packaging has some disadvantages. Recycling and polymer waste disposal is challenging for the industry. Some plastics, especially in laminated packages cannot be recycled and end up as landfill or get burned by incinerator that has a negative effect on the environment [1].

Solution to the problem is production of packaging materials based on biodegradable polymers. One of these polymers is polylactic acid or polylactide (PLA).

Polylactide is universal commercial biodegradable thermoplastic made from lactic acid. Monomeric lactic acid is derived from renewable sources such as corn or sugar beet. Polylactide has good set of properties and can act as an alternative to traditional petroleum-based thermoplastics. This material is one of the most attractive biodegradable polymers that are used in the industry. Polylactic acid is applied in different spheres such as medicine, packaging, auto parts, etc. [2-5].

Polylactides decompose into non-toxic products. Due to its biodegradation and biocompatibility less plastic wastes are formed if it is used.

Another trend in packaging industry is the development of packaging with extra functions e.g., active packaging that elongates storage life of a product by direct effect of packaging on it. Polymer electrets are one of this type of materials. They can elongate shelf life of food without adding chemical agents due to negative effect of electret electric field on activity of microorganisms that cause food spoilage [6]. If we know microbiological composition of different food products we can predict efficiency of electret material application as a packaging for preserving food quality for a longer time.

The objective of the paper was studying set of properties of packaging material based on biodegradable polymer.

### Materials and Methods

The subject of research was D-polylactide ( $\rho = 1.24 \text{ g/cm}^3$ ,  $T_g = 60^\circ\text{C}$ ,  $T_m = 165^\circ\text{C}$ ) and fine filler – talc of grade PMK-27 ( $\rho = 2.75 \text{ g/cm}^3$ ), drinking pasteurized regular milk with fat content of 2.5%, energy value 223 kJ/53 kCal per 100 g. Nutrition value of milk (per 100 g) proteins 3.0 g, total fat 2.5 g, carbohydrates 4.7 g. Required storage condition for milk is temperature in the range of +2 to +6 °C.

#### Для цитирования

Загидуллина И.А., Гужова А.А., Перушкина Е.В. Активный упаковочный материал на основе биоразлагаемого полимера // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 76–80. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-76-80

#### For citation

Zagidullina I.A., Guzhova A.A., Perushkina E.V. Active packaging material based on biodegradable polymer. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 76–80. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-76-80

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

Poly lactide and talc were mixed with Brabender Mixer W 50 EHT. Mixing was done at a temperature of 180 °C during 300 s at 150 rpm blades rotation.

Sample films with thickness of 0.5 mm were formed with Gotech GT-7014-H10C according to GOST 12019–66 (Russian Standard).

The films were charged with two-electrode negative corona discharge system. Upper charging electrode consisted of 196 sharp needles uniformly distributed in the shape of a square with a side of 7 cm. Distance between a sample and the electrode was 20 mm. Polarization time was 30 s, polarization voltage was 30 kV.

Surface potential  $V_s$ , electric field strength  $E$  and effective surface charge density  $\sigma_{eff}$  were measured with IPEP-1 fieldmeter.

Stress-strain behavior of the material was studied according to GOST 11262–80 with universal testing machine Test P 108.

Samples of packaging materials in the shape of a square with a side of 6 cm pretreated with 3% hydrogen dioxide solution were placed into pasteurized milk complying sterility conditions. To assess biofilm formation polymer samples were kept in milk at a temperature of 37 °C for 48 hours. After holding in a thermostat milk samples were examined and milk visual appearance was registered (presence of curd, whey formation, presence of milk flakes). Reference sample group was milk in sterile Petri dishes without packaging material. The results given below were an average of three replications.

To determine lactic acid bacteria activity during milk souring titrable acidity was measured that was expressed in Turner degrees (°T). Microbiological study of biofilm of the milk microflora on the surface of the packaging materials was carried out after condition samples at 37 °C for 48 hours followed by washing with sterile physiological solution of 0.9% NaCl. Inoculation was done on beef-extract agar nutritive medium by the method of replica plating. Before microscopic analysis plates were incubated at 37 °C for 72 hours.

## Results

Surface potential  $V_s$ , electric field strength  $E$  and effective surface charge density  $\sigma_{eff}$  of PLA-talc compositions showed similar behavior pattern (Table 1). Talc content growth gradually increased electret properties, which reached maximum at 4% talc loading, followed by slight fall at higher filler content. So, composition of polylactide and 4 vol.% talc had the highest and the most stable electret properties.

Table 1.

Electret properties of PLA-talc compositions on 60<sup>th</sup> day after charging

Sample	$V_s$ , kV	$E$ , kV/m	$\sigma_{eff}$ , $\mu\text{C}/\text{m}^2$
PLA 100%	0.3	19.97	0.15
PLA + 2% talc	0.43	27.93	0.25
PLA + 4% talc	0.52	39.07	0.35
PLA + 6% talc	0.39	26.67	0.20

Stress-strain behavior is important parameter for polymer packaging. Table 2 illustrates that talc addition slightly reduced performance of the material.

Table 2.

Stress-strain behavior of PLA-talc compositions

Sample	$\sigma_{UTC}$ , MPa	$\epsilon$ , %
PLA 100%	47.60	7.50
PLA + 2% talc	42.98	5.13
PLA + 4% talc	41.49	4.53
PLA + 6% talc	50.51	6.13

Titrate acidity is an indicator of milk quality and bacterial counts (table 3).

Table 3.

Milk acidity (°T) during conditioning at a temperature of 37 °C in the presence of polymer packaging materials

Sample	Cultivation duration, h		
	0	24	48
Reference (pasteurized milk)	16 ± 2	67 ± 4	125 ± 4
Polyethylene	16 ± 2	29 ± 4	101 ± 5
PLA	16 ± 2	36 ± 3	109 ± 2
PLA + 4% talc (electret)	16 ± 2	78	108 ± 3

When active polylactide packaging was inserted in milk, dense milk curd was formed during the process of milk souring at a temperature of 37 °C (figure 1). When polyethylene and uncharged polylactide films were used, small curds and milk protein flakes were formed (figure 2).



Figure 1. Milk curd in the presence of electret polylactide + 4% talc packaging



Figure 2. Milk curd in the presence of untreated polylactide packaging

## Discussion

Electrets are dielectric materials that keep polarization state (ordered reorientation of molecules in the substance or material) even without external electric field. Electret properties of polymers depend on multiple factors – type of a polymer, polarization parameters, storage conditions, etc. Polylactide charges badly by the method of the corona discharge. However, electret properties of a polymer can be enhanced by filler loading and production of polymer composite materials.

To improve polylactide electret properties fine talc was added. It was chosen due to its availability and suitability for food industry. Talc loading into the polymer resulted in higher and more stable electret properties (Table 1) that is consistent with the previous research [7, 8].

Slight reduction of stress-strain properties when talc was loaded into the polylactide can be caused by the fact that talc particles do not deform together with polymer matrix due to great difference in their elasticity moduli. It resulted in appearance of new cracks and over stresses at polymer-filler interface boundary and loosened composite material.

The best electret properties were shown by composition of PLA and 4% talc. That's why this composition was chosen for the study of the material as the milk packaging.

Dairy product quality, economic efficiency of production and food industry sustainability depend largely on bacterial contamination of a feedstock and contact surfaces throughout all production stages. Bacterial biofilms emerge in all stages of milk production during 12 hours. *Bacillus cereus* and *Enterococcus faecalis* are the most common microorganisms contaminating surfaces of the equipment and form dense biofilms [9--12].

Presence of the biofilms in milk medium affects storage life of the final products and, therefore, we were interested in the aspects of bacterial colony development on the surface of packaging materials in the context of food hygiene.

Ability of microorganisms to attach and grow on food and food-contacting surfaces under favorable conditions gains special interest. Biofilm formation is a dynamic process; attachment and growth require different mechanisms. If microorganisms are not completely removed from food-contacting surfaces, it may give rise to biofilm formation and increases biotransfer potential [13-17].

The right choice of packaging material and its cleaning and disinfection method positively affects biocontrol and biofilm formation, that provides quality and safety of food.

Microbial diversity of biofilms was estimated by culture-dependent method. Microscopic examination of inoculated biofilm samples from the surface of packaging materials revealed differences in morphological structure of the film. Samples from the surfaces of standard commonly-used polyethylene and untreated polylactide had prevailing sporogenic rod-shaped bacteria that formed on the nutritive medium white colonies with folded center and undulate margin. These are representatives of putrefactive aerobic bacteria *Bacillus* that cause food spoilage when stored under aerobic conditions. Sporogenic rod-shaped bacteria have proteolytic power and peptonize milk.

Bacteria associated with milk fermentation were dominating on the surface of active polylactide packaging material. Typical representatives of milk microflora were revealed – gram-positive cocci arranged in pairs or chains, asporous non-motile gram-positive rods arranged in pairs or chains. Lactic acid bacteria colonies dominated in microbiota of the biofilms, with minor presence of sporogenic bacteria and gram-negative rod-shaped bacteria. Well-known microorganisms that cause milk spoilage at production site include such bacteria as *Bacillus* (predominantly *B. cereus*) and *Pseudomonas*. *Pseudomonas* strains can form biofilm in dairy products at 30 °C in 48 hours of incubation [18-22].

The obtained microscopic results are compliant with high acidity of milk in the presence of electret polylactide packaging. It was 78°T at 24<sup>th</sup> hour and at the end of the experiment this value was 109°T (Table 3). It is due to lactic acid bacteria growth is accompanied by lactose fermentation and lactic acid formation. Titrable acidity reduction by 14% compared to reference milk samples was registered.

Milk acidity growth of biofilms on polyethylene packaging was slow (29 °T at 24<sup>th</sup> hour of conditioning) that is related to prevailing of putrefactive sporogenic bacteria in the community and replacement of typical lactic acid bacteria. Initial pasteurized milk acidity was 16°T that corresponds to regulatory requirements.

Dense milk curd formed during the process of milk souring in the presence of electret polylactide + 4% talc packaging (figure 1) was the product of lactic acid bacteria activity, while small curds and milk protein flakes (figure 2) indicated growth of microorganisms that cause food spoilage.

Therefore, electric field of the electret packaging material inhibited growth of bacteria contaminating dairy production.

## Conclusion

Thus, electret material prevented activity of saprogenic bacteria on its surface, while biofilm with prevailing lactic acid bacteria was formed. Dense milk curd formation was registered at conditioned milk souring that corresponded to high milk acidity.


Active electret packaging based on composition of polylactic acid and talc preserves natural flora of pasteurized milk and prevents growth of microorganisms that spoil food.


## References


- 1 Pantyukhin O.V., Komarov D.V., Pantyukhina E.V. Modern aspects of recycling polymer packaging. News of Tula State University. Geosciences. 2022.vol. 4. pp.128-133. (in Russian)
- 2 Gulyakova A.A., Galikhanov M.F., Ma X., Zhang X. et al. The Peculiarities of Electret Effect in Corona Electrets Based on Nonpolar and Polar Polymers with Dispersed Montmorillonite. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2022. vol. 29. no. 3. pp. 840-844. doi:10.1109/tdei.2022.3178093

- 3 Kovalenko M.A., Zotov S.V., Goldade V.A., Pavlov A.A. et al. Electret state in nanocomposites based on polylactide. Problems of physics, mathematics and technology. 2023. no. 2(5). pp. 20-24. doi: 10.54341/20778708\_2023\_2\_55\_20
- 4 Volokhova A.A. et al. Reactive Magnetron Plasma Modification of Electrospun PLLA Scaffolds with Incorporated Chloramphenicol for Controlled Drug Release. Polymers. 2022. vol. 14. no. 3. pp. 373. doi: 10.3390/polym14030373
- 5 Dobrosielska M. et al. Effect of wax additives and silanization of diatom surfaces on thermomechanical properties of polylactide composites. Polymers. 2022. vol. 14. no. 24. pp. 5511.
- 6 Galikhanov M. Corona Electrets Based on Filler-Loaded Polymers: Structure, Properties, and Applications. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2022. vol. 29. no. 3. pp.788-793. doi: 10.1109/TDEI.2022.3159841
- 7 Galikhanov M., Guzhova A., Zagidullina I. Improvement of Electret Properties of Polylactide by Loading Mineral Fillers. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2022. vol. 29. no. 3. pp. 784-787. doi: 10.1109/TDEI.2022.3173499
- 8 Zagidullina I.A., Galikhanov M.F., Kamalova R.I., Sharipova G.F. et. al. The study of the electret properties of polylactic acid and mineral fillers. AIP Conference Proceedings. 2020. vol. 2313. no. 1. pp. 050048. doi: 10.1063/5.0033479
- 9 Flint S., Bremer P., Brooks J., Palmer J. et al. Bacterial fouling in dairy processing. International Dairy Journal. 2020. vol. 101. pp. 104593.
- 10 Guo R., Li K., Tian B., Wang C. et al. Elaboration on the architecture of pH-sensitive surface charge-adaptive micelles with enhanced penetration and bactericidal activity in biofilms. Journal of Nanobiotechnology. 2021. vol. 19. no. 1. pp. 1-18. doi: 10.1186/s12951-021-00980-8
- 11 Glicerina V., Siroli L., Canali G., Chinnici F. et al. Efficacy of biodegradable, antimicrobial packaging on safety and quality parameters maintenance of a pear juice and rice milk-based smoothie product. Food Control. 2021. vol. 128. pp. 108170. doi: 10.1016/j.foodcont.2021.108170
- 12 Mikloskova H. et al. Storage stability of plain stirred whole milk yoghurt (3.7% fat) packed in polylactic acid and polystyrene. International Dairy Journal. 2021. vol. 120. pp. 105088. doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105088
- 13 Lianou D.T., Michael C.K., Solomakos N., Vasileiou N.G. et al. Isolation of biofilm-forming staphylococci from the bulk-tank milk of small ruminant farms in Greece. Foods. 2023. vol. 12. no. 15. pp. 2836. doi: 10.3390/foods12152836
- 14 Gajewska J., Chajęcka-Wierzchowska W., Byczkowska-Rostkowska Z., Saki M. Biofilm Formation Capacity and Presence of Virulence Determinants among Enterococcus Species from Milk and Raw Milk Cheeses. Life. 2023. vol. 13. no. 2. pp. 495. doi: 10.3390/life13020495
- 15 Lee J.I., Kim S.S., Kang D.H. Characteristics of Staphylococcus aureus biofilm matured in tryptic soy broth, low-fat milk, or whole milk samples along with inactivation by 405 nm light combined with folic acid. Food Microbiology. 2023. vol. 116. pp. 104350. doi: 10.1016/j.fm.2023.104350
- 16 Ngo T.P., Bui H.L., Pham T.B.N. Identifying biofilm forming bacteria in cow milk in Mekong Delta, Viet Nam. Can Tho University Journal of Science. 2023. vol. 15. no. 1. pp. 84-90. doi: 10.22144/ctu.jen.2023.011
- 17 Rudenko P., Sachivkina N., Vatinikov Y., Shabunin S., Engashev S., Kontsevaya S., Karamyan A., Bokov D., Kuznetsova O., Vasilieva E. Role of microorganisms isolated from cows with mastitis in Moscow region in biofilm formation, Veterinary World. 2021. vol. 14(1). pp. 40-48.
- 18 Ban G.H., Lee J.I., Kang D.H. Effects of storage temperature on microbiota shifts in raw milk biofilm developed on stainless steel. Food Microbiology. 2023. vol. 110. pp. 104163. doi: 10.1016/j.fm.2022.104163
- 19 Diarra C., Goetz C., Gagnon M., Roy D. et al. Biofilm formation by heat-resistant dairy bacteria: multispecies biofilm model under static and dynamic conditions. Applied and Environmental Microbiology. 2023. vol. 89. no. 10. pp. e00713-23. doi: 10.1128/aem.00713-23
- 20 Kiel A., Kaltschmidt B.P., Asghari E., Hütten A. et al. Bacterial biofilm formation on nano-copper added PLA suited for 3D printed face masks. Microorganisms. 2022. vol. 10. no. 2. pp. 439. doi: 10.3390/microorganisms10020439
- 21 Nkemnaso O.C., Chisom O.C. Biofilms and Microbial Mats: Roles in Contamination of Food Industries-A Review.
- 22 Sivanandham V. et al. Biofilm Formation and Persistence in Food Industries: Perspectives on Emerging Control Strategies Prospective Research and Technological Advancements in Food and Health Sciences. 2023. pp. 14-82. doi: 10.22573/spg.023.978-93-90357-07-9/2

#### Information about authors

**Inna A. Zagidullina** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, processing technology of polymers and composite materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx street, 68, Kazan, 420015, Russia, zagidullina\_inna@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-5736-6957>

**Alina A. Guzhova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, foreign languages for professional communication department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx street, 68, Kazan, 420015, Russia,, alina\_guzhova@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-4354-8984>

**Elena V. Perushkina** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial biotechnology department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx street, 68, Kazan, 420015, Russia,, perushkina\_elena@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-1403-364X>

#### Contribution

conducted an experiment, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

conducted an experiment, wrote the manuscript, correct it before filing in editing

conducted an experiment, consulted during the study

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 05/10/2023

Accepted in revised 01/11/2023

Accepted 22/11/2023

---

## Активный упаковочный материал на основе биоразлагаемого полимера


---

**Аннотация.** Современные тренды переработки, хранения и упаковки пищевых продуктов направлены на сохранение нативных свойств сырья, обеспечить гигиеническую безопасность, современный дизайн и свойства упаковочного материала, предназначенного для потребителя. В технологическом процессе производства пастеризованного молока выделяют стадии нормализации, термической обработки, расфасовки и упаковки, на которых важно сохранить качество готового молочного продукта, поэтому для большинства молочных продуктов используют полимерную тару. Целью исследования является разработка полимерной упаковки для молока, отличающейся дополнительными функциями материала и способной к биологической деструкции после эксплуатации. В качестве перспективного упаковочного материала выбран полилактид с введением инертного наполнителя. Авторами были изготовлены электретные пленки на основе полилактида с введением 2, 4 и 6% талька. Электретирование образцов проводили при помощи коронного разряда на установке с квадратным игольчатым электродом площадью 49 см<sup>2</sup>. Увеличение дозировки талька в составе образцов способствовало снижению механических и прочностных характеристик материалов. Установлено, что введение талька в полилактид повышает электретные свойства материала, что основано на возникновении дополнительных ловушек инжектированных носителей зарядов. Объектом тестирования свойств разработанного полимерного материала выбрано коровье молоко, промышленно пастеризованное при 74-76°C. Проведены исследования по оценке влияния электретной полилактидной пленки на кислотность и состав микрофлоры пастеризованного молока в процессе хранения при температуре 37°C в течение 48 часов. В присутствии активного упаковочного материала отмечено образование плотного молочного сгустка и увеличение кислотности продукта при сквашивании молока.


**Ключевые слова:** полилактид, коронозлектреты, активная упаковка, молоко.

---


**Инна А. Загидуллина** к.т.н., доцент, кафедра технологии переработки полимеров и композиционных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, zagidullina\_inna@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5736-6957>





**Елена В. Перушкина** к.т.н., доцент, кафедра промышленной биотехнологии, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, perushkina\_elena@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1403-364X>

**Алина А. Гужова** к.т.н., доцент, кафедра иностранных языков в профессиональной коммуникации, Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, alina\_guzhova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4354-8984>

## Defining metrological characteristics of the method for measuring nitrogen oxides (no, nox) contents in gaseous phase of heated tobacco products

Anastasia J. Lushnikova <sup>1</sup>	<a href="mailto:a_lushnikova@inbox.ru">a_lushnikova@inbox.ru</a>	 0000-0002-8066-6288
Nadezhda A. Duruncha <sup>1</sup>	<a href="mailto:nadia.duruncha@mail.ru">nadia.duruncha@mail.ru</a>	 0000-0001-9284-3395
Svetlana N. Medvedeva <sup>1</sup>	<a href="mailto:cah-ek@mail.ru">cah-ek@mail.ru</a>	 0000-0003-0161-2829
Tatjana A. Perezhogina <sup>1</sup>	<a href="mailto:perezoginataty@mail.ru">perezoginataty@mail.ru</a>	 0000-0001-8659-1224

<sup>1</sup> All Russian research institute of tobacco, makhorka and tobacco products, Moscovskaya St., 42 Krasnodar, 350072, Russia

**Abstract.** Results of international comparative interlaboratory tests on defining contents of nitrogen oxides (NO, NO<sub>x</sub>) in gaseous phase of aerosol of heated tobacco products are presented in the article. The objects of study were samples of heated tobacco intended for use with electric tobacco heating systems of the IQOS, Glo and Ploom brands. The determination of nitrogen oxides in the gas phase of aerosol from heated tobacco products was carried out using a technique developed in the laboratory of chemistry and quality control of the Federal State Budget Scientific Research Institute "All Russian research institute of tobacco, makhorka and tobacco products". The aim of interlaboratory comparative tests is calculation of intra- and interlaboratory variability (repeatability and reproducibility). Mandel h and k statistics were utilized for statistical compatibility analysis. Analysis of interlaboratory compatibility was carried by z - index, statistical identifying of outliers was carried by Cochran's and Grubbs' criteria. Also, repeatability and reproducibility were calculated. Statistical analysis of interlaboratory comparative tests results proved high level of validity of obtained data. Establishing metrological characteristics is a key aspect of ensuring the reliability and applicability of the methodology. Interlaboratory comparative tests for nitrogen oxides defining are the first time carried in Russia and are actual for innovative products from heated tobacco.

**Keywords:** nitrogen oxides, nicotine containing products, heated tobacco, electric systems for heating tobacco, aerosol, repeatability, reproducibility.

### Introduction

Popularity of innovative types of nicotine containing products (NCP) including electric systems for heating tobacco (eSHT) is increasing during last years. Electrically heated tobacco products have become increasingly popular since the introduction of the Tobacco Heating System 2.2 (THS 2.2, marketed as IQOS<sup>®</sup>) on the market in 2014. Previous studies have shown that the environmental aerosols emitted by electrically heated tobacco products have a substantially lower impact on indoor environments than the environmental tobacco smoke generated from cigarettes [1-11]. eSHT are utilized for inhaling nicotine containing aerosol, which consists of liquid particles dispensed in gaseous phase, formed by heating tobacco without its burning and smoldering. Heated tobacco products are declared in the market as safer alternative to smoking traditional cigarettes due to absence of burning or smoldering processes [12].

Nitrogen oxide and more dangerous dioxide contains in the smoke of tobacco products and in gaseous phase of heated tobacco products' aerosol. Nitrogen oxides are classified as substances 2 class (NO<sub>x</sub>) and class 3 (NO) toxic hazard, as negatively

affecting the body a person, causing damage to the lungs. Airway intake of nitrogen oxides enhances the absorption of nicotine [13, 14].

As eSHT is a new type of product, standard methods for defining nitrogen oxides contents in their aerosol are not approved.

Method for defining carbon monoxide (CO) in gaseous phase of nicotine containing aerosol is presented in paragraph 6 GOST R 57458–2017 [15] which content is an indicator proving absence of burning and smoldering processes. Except for carbon monoxide method, elaborated in chemistry and quality control laboratory of Federal State Budget Scientific Research Institute "All Russian research institute of tobacco, makhorka and tobacco products", for defining nitrogen oxides (NO, NO<sub>x</sub>) contents in gaseous phase of aerosol of heated tobacco products can be utilized as extra proof of absence of these processes. Interlaboratory comparative tests (ICT) were carried for defining metrological characteristics of this method.

Federal State Budget Scientific Research Institute "All Russian research institute of tobacco, makhorka and tobacco products" was the coordinator of these ICT.

### Для цитирования

Лушникова А.Ю., Дурунча Н.А., Медведова С.Н., Пережогина Т.А. Установление метрологических характеристик метода при определении оксидов азота (но, нох) в газовой фазе аэрозоля изделий из табака нагреваемого // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 81–85. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-81-85

### For citation

Lushnikova A.J., Duruncha N.A., Medvedeva S.N., Perezhogina T.A. Defining metrological characteristics of the method for measuring nitrogen oxides (no, nox) contents in gaseous phase of heated tobacco products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 81–85. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-81-85

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

Aim of interlaboratory comparative tests was defining nitrogen oxides NO, NO<sub>x</sub> contents, and also defining intra – and interlaboratory variability for defining nitrogen oxides (NO, NO<sub>x</sub>) contents in gaseous phase of aerosol.

Five laboratories: Russia, Germany, Austria, Italy, Switzerland took part in comparative tests for defining NO, NO<sub>x</sub> in heated tobacco. All laboratories carried tests according to regulative documents for carrying tests.

### Materials and Methods

Three types of electric systems for heating tobacco (Ploom, model S; IQOS, model 2.4; Glo Hyper, model G401) and six samples of heated tobacco were utilized in the tests. Each participant of tests received 2 blocks (400 articles of heated tobacco) and seven devices ESHT of each trademark. Each sample received its own code (A, B, C, D, E, F).

Conditioning samples of heated tobacco was carried directly in consumers' pack (not less than 48 hours, but not more than 10 days), according to GOST ISO 3402–2003 [16].

Samples that were taken from open pack were stored not more than 4 hours in closed containers. After expiring this time samples of heated tobacco were not utilized [17].

Ambient air characteristics during conditioning and testing were maintained according to standard [16].

Protocol for collection aerosol was utilized according to ISO 20778:2018 standard [18].

Collection gaseous phase of aerosols of studied samples in testing laboratories was carried by linear smoking machines "Cerulean SM 450" and "Borgwaldt LM 20E".

### Results

Presence of incompatible with all others results (outliers) was utilized for defining precision values (repeatability and reproducibility) for the method of defining nitrogen oxides (NO, NO<sub>x</sub>) in gaseous phase of heated tobacco. Decisions for excluding results were made after carrying analysis of intra – and interlaboratory compatibility and statistical testing of outliers.

Mandel's h and k statistics were utilized for graphic analysis of compatibility, which allow defining intralaboratory (statistics k) and interlaboratory (statistics h) compatibilities. Mandel's statistics were carried for each laboratory and sample of heated tobacco under GOST R ISO 5725–2–2002 [19]. Results analysis indicates that values from different laboratories differs, but not exceeds 1% level of significance for h statistics. However exceeding 5% level of significance for h statistics for nitrogen oxide NO<sub>x</sub> defining was noticed for laboratories

"a" (samples C, D, F) and "b" (samples A and B). Exceeding critical level for k statistics for nitrogen oxide NO<sub>x</sub> defining was noticed for laboratory "c" for sample D. Significant variance of intralaboratory results on nitrogen oxide NO defining was noticed for laboratory "c" (sample D), on nitrogen oxide NO<sub>x</sub> defining – for laboratories "b" (sample A) and "c" (sample C).

Interlaboratory results compatibility was defined by using Z-index, which was calculated for each defined value and for each laboratory (R 50.2.011, 2005) [20].

Diagrams analysis indicates that value of Z-index for all participants who defined nitrogen oxides not exceeds 2. In this case results prove satisfactory quality of ICT carried for defined values.

Statistic quality evaluation of experimental data was carried by Cochran's and Grubbs' criteria, according to GOST R ISO 5725–2–2002 [19]. Also harmonized flow-chart for exclusion abnormal results recommended by International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) was utilized [21].

Comparison of results for Cochran's and Grubbs' criteria for all defined values for heated tobacco products allows identifying suspicious (quasi outliers) and abnormal (statistical outliers) results. According to data analysis abnormal results are absent. Quasi outlier for nitrogen oxide NO<sub>x</sub> defining under Cochran's criterion was noticed only for sample D (laboratory "c") and under Grubbs' criterion – for two minimum extreme values (laboratories "a" and "f").

Next stage of carried tests analysis is calculation repeatability (r) and reproducibility (R) for each defined parameter. Calculated, according to (GOST R ISO 5725–2–2002), values of general mean values, repeatability and reproducibility for each component of aerosol of heated tobacco and for each sample are presented in tables 1–2. Comparison of mean values of defined parameters (nitrogen oxides) with r and R values allowed calculation empirical equations and defining correlation coefficients.

Table 1.  
Nitrogen oxide NO,  $\mu\text{g} / 100 \text{ cm}^3$

Sample code	Mean value m,	Repeatability (r)	Reproducibility (R)
A	0.495	0.045	0.150
B	0.469	0.032	0.117
C	1.875	0.172	0.565
D	1.745	0.174	0.488
E	2.962	0.309	1.067
F	2.763	0.305	0.953

Source: Compiled by authors

Table 2.  
Nitrogen oxide NO<sub>x</sub>, µg / 100 cm<sup>3</sup>

Sample code	Mean value m,	Repeatability (r)	Reproducibility (R)
A	0.565	0.042	0.314
B	0.539	0.030	0.284
C	2.073	0.196	0.266
D	1.918	0.170	0.245
E	3.459	0.319	0.664
F	3.192	0.281	0.623

Source: Compiled by authors

It was discovered linear correlation with high correlation coefficients between repeatability and reproducibility and mean value of nitrogen oxides (NO, NO<sub>x</sub>) contents in gaseous phase of aerosol of heated tobacco.

### Discussion

Carrying calculations of metrological characteristics (repeatability and reproducibility) of method for defining nitrogen oxides (NO, NO<sub>x</sub>) in gaseous phase of aerosol of heated tobacco was the aim of the research.

Statistical analysis of defined data noticed absence of statistical outliers for defined values.

It was discovered, that increasing of mean value leads to repeatability and reproducibility increasing.

At present moment, there is no information about carrying such interlaboratory comparative tests for defining nitrogen oxides contents in aerosol of heated tobacco.

### Conclusion

As the result of carried ICT metrological characteristics for the method of defining nitrogen oxides in gaseous phase of aerosol of heated tobacco products were obtained. This proves satisfactory quality of participating laboratories. The obtained values will be utilized for evaluation intra – and interlaboratory convergence of results on defining nitrogen oxide NO and nitrogen oxides NO<sub>x</sub> in gaseous phase of aerosol of heated tobacco products.

Work for including method of defining nitrogen oxides (NO, NO<sub>x</sub>) in gaseous phase of heated tobacco products into GOST R 57458–2017 “Heated tobacco. General technical specifications” for proving absence of burning or smoldering process during utilizing ESHT is now in process.

### References

- 1 Mitova M.I., Cluse C., Correia D., Goujon-Ginglinger C.G. et al. Comprehensive Air Quality Assessment of the Tobacco Heating System 2.2 under Simulated Indoor Environments. *Atmosphere*. 2021. vol. 12. pp. 989.
- 2 Savdie J., Canha N., Buitrago N., Almeida S.M. Passive Exposure to Pollutants from a New Generation of Cigarettes in Real Life Scenarios. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. vol. 17. pp. 3455.
- 3 Meišutovič-Akhtarieva M., Prasauskas T., Čiužas D., Kaunelienė V. et al. The Dynamics of Exhaled Aerosol Following the Usage of Heated Tobacco Product, Electronic Cigarette, and Conventional Cigarette. *Aerosol Air Qual. Res.* 2021. vol. 21. pp. 200653.
- 4 Ratajczak A., Jankowski P., Strus P., Feleszko W. Heat Not Burn Tobacco Product—A New Global Trend: Impact of Heat-Not-Burn Tobacco Products on Public Health, a Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. vol. 17. pp. 409.
- 5 Hirano T., Shobayashi T., Takei T., Wakao F. Exposure Assessment of Environmental Tobacco Aerosol from Heated Tobacco Products: Nicotine and PM Exposures under Two Limited Conditions. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020. vol. 17. pp. 8536.
- 6 Peruzzi M., Cavarretta E., Frati G., Carnevale R. et al. Comparative Indoor Pollution from Glo, Iqos, and Juul, Using Traditional Combustion Cigarettes as Benchmark: Evidence from the Randomized SUR-VAPES AIR Trial. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. vol. 17. pp. 6029.
- 7 Goujon-Ginglinger C., Mitova M.I. Environmental impact: Influence of ENDPs on Indoor Air Quality. *Toxicological Evaluation of Electronic Nicotine Delivery Products*. Academic Press, 2021. pp. 137-187.
- 8 Simonavicius E., McNeill A., Shahab L., Brose L.S. Heat-not-burn tobacco products: A systematic literature review. *Tobacco Control*. 2019. vol. 28. pp. 582–594.
- 9 Meišutovič-Akhtarieva M., Prasauskas T., Čiužas D., Krugly E. et al. Impacts of exhaled aerosol from the usage of the tobacco heating system to indoor air quality: A chamber study. *Chemosphere*. 2019. vol. 223. pp. 474–482.
- 10 Loupa G., Karali D., Rapsomanikis S. The trace of airborne particulate matter from smoking e-cigarette, tobacco heating system, conventional and hand-rolled cigarettes in a residential environment. *Air Qual. Atmos. Health*. 2019. vol. 12. pp. 1449–1457.
- 11 Mitova M.I., Bielik N., Campelos P.B., Cluse C. et al. Air quality assessment of the Tobacco Heating System 2.2 under simulated residential conditions. *Air Qual. Atmos. Health*. 2019. vol. 12. pp. 807–823.
- 12 Takahashi Y., Kanemaru Y., Fukushima T., Eguchi K. et al. Chemical analysis and in vitro toxicological evaluation of aerosol from a novel tobacco vapor product: A comparison with cigarette smoke. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2018. vol. 92. pp. 94-103. doi: 10.1016/j.yrtph.2017.11.009
- 13 Andreeva T.I., Krasovsky K.S. Tobacco and health. Kiev, 2004.
- 14 Lushnikova A.Yu. Analytical review of methods for the determination of nitrogen oxides in tobacco and nicotine containing products. *New technologies*. 2022. vol.18. no. 2. 81-86. doi: 10.47370/2072-0920-2022-18-2-81-86
- 15 GOST R 57458–2017. Heated tobacco. General technical Specifications. Moscow, Standardinform. (in Russian).
- 16 GOST ISO 3402–2003. Tobacco and tobacco products. Atmosphere for conditioning and testing. Moscow, Standardinform. (in Russian).
- 17 Heated Tobacco Products (HTP): Standardized Terminology and Recommendations for the Generation and Collection of Emission. 2020. Available at: <https://www.coresta.org/heated-tobacco-products-https-standardized-terminology-and-recommendations-generation-and-collection>

18 ISO 20778:2018. Cigarettes. Routine analytical cigarette smoking machine. Definitions and standard conditions with an intense smoking regime. (in Russian).

19 GOST R ISO 5725-2-2002. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Moscow, Standardinform. (in Russian).


20 R 50.2.011-2005. State system for ensuring uniformity of measurements. Verification of the qualifications of testing (measuring) laboratories carrying out tests of substances, materials and objects of the environment (in composition and physicochemical properties), through interlaboratory comparisons. Moscow. (in Russian).

21 Horwitz W., Albert R., Deutsch M. J. Guidelines for collaborative study of procedure to validate characteristics of a method of analysis. AOAC official methods of analysis. 2000. pp. 1-11.


#### Information about authors

#### Contribution


**Anastasia J. Lushnikova** graduate student, laboratory of chemistry and quality control, FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products», Moscovskaya St., 42 Krasnodar, 350072, Russia, a\_lushnikova@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8066-6288>


**Nadezhda A. Duruncha** senior researcher, laboratory of chemistry and quality control, FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products», Место для ввода текста., Moscovskaya St., 42 Krasnodar, 350072, Russia, nadia.duruncha@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9284-3395>

**Svetlana N. Medvedeva** Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, laboratory of chemistry and quality control, FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products», Moscovskaya St., 42 Krasnodar, 350072, Russia, cah-ek@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0161-2829>

**Tatjana A. Perezhogina** senior researcher, laboratory of chemistry and quality control, FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products», Moscovskaya St., 42 Krasnodar, 350072, Russia, perezoginataty@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8659-1224>

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.

---

Received 10/10/2023

Accepted in revised 31/10/2023

Accepted 22/11/2023

---

---

## Установление метрологических характеристик метода при определении оксидов азота (но, nox) в газовой фазе аэрозоля изделий из табака нагреваемого

---

**Аннотация.** В статье приводятся результаты проведения международных межлабораторных сравнительных испытаний изделий из табака нагреваемого по определению оксидов азота (NO, NOx) в газовой фазе аэрозоля. Объектами изучения являлись образцы табака нагреваемого, предназначенного для использования с электрическими системами нагревания табака торговых марок IQOS, Glo и Ploom. Определение оксидов азота в газовой фазе аэрозоля изделий из табака нагреваемого проводили с помощью методики, разработанной в лаборатории химии и контроля качества Федерального государственного бюджетного научно-исследовательского учреждения "Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий". Цель межлабораторных сравнительных испытаний – расчет внутри – и межлабораторной вариабельности (повторяемости и воспроизводимости). При статистической обработке результатов использовали анализ совместимости по статистикам Манделя  $h$  и  $k$ , анализ межлабораторной совместимости с помощью  $z$  – индекса, статистическое тестирование выбросов по критериям Кохрена и Граббса, и провели расчет повторяемости и воспроизводимости. Статистическая обработка результатов межлабораторных сравнительных испытаний подтвердила высокий уровень достоверности полученных данных. Установление метрологических характеристик является ключевым аспектом обеспечения надежности и применимости методики. Межлабораторные сравнительные испытания по определению оксидов азота были проведены впервые в России и являются актуальными для инновационной продукции изделий из табака нагреваемого.

**Ключевые слова:** оксиды азота, никотинсодержащая продукция, табак нагреваемый, электрические системы нагревания табака, аэрозоль, повторяемость, воспроизводимость.

---

**Анастасия Ю. Лушникова** аспирант, лаборатория химии и контроля качества, Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий, ул. Московская, 42, 350072, Россия, a\_lushnikova@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8066-6288>

**Светлана Н. Медведева** к.т.н., ведущий научный сотрудник, лаборатория химии и контроля качества, Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий, ул. Московская, 42, 350072, Россия, sah-ek@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0161-2829>






**Надежда А. Дурунча** старший научный сотрудник, лаборатория химии и контроля качества, Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий, ул. Московская, 42, 350072, Россия, nadia.duruncha@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9284-3395>

**Татьяна А. Пережогина** старший научный сотрудник, лаборатория химии и контроля качества, Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий, ул. Московская, 42, 350072, Россия, perezoginataty@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8659-1224>

# Designing of the Biological Product "AGROBIOLOG" for Mitigating Pesticide Stress in Agricultural Plants and Stimulating Their Growth

Sergey P. Chetverikov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:che-kov@mail.ru">che-kov@mail.ru</a>	 0000-0002-7961-1503
Darya V. Chetverikova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:belka-strelka8031@ya.ru">belka-strelka8031@ya.ru</a>	 0000-0002-4917-0831
Gaisar G. Hkudaygulov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:bio.logos@ya.com">bio.logos@ya.com</a>	 0000-0001-9652-6565
Margarita D. Bakaeva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:margo22@yandex.ru">margo22@yandex.ru</a>	 0000-0001-8738-4534
Aliya A. Kenjjeva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:aliya_kendzieva@mail.ru">aliya_kendzieva@mail.ru</a>	 0000-0003-2547-4440

<sup>1</sup> Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, October Av., 69, Ufa 450054, Russia

**Abstract.** The results of the selection of new plant growth-promoting bacteria resistant to herbicides of different chemical structure are presented. Two methods were used for screening: sowing on microbiological media from freshly sampled soil and obtaining enrichment cultures from soil samples exposed to herbicides for a month at a temperature of 28 °C. Inoculation was carried out on selective nutrient media containing herbicides Octapon extra (2,5 g/l), Florax (2,5 g/l), Dicamba (1 g/l), Nanomet (1 g/l), Spetsnaz (1 g/l) or Chistalan (2,5 g/l). These herbicides are commonly used to control weeds in wheat crops. The isolated microorganisms belong to the genus *Pseudomonas*, fix nitrogen, mobilize phosphates, synthesize phytohormones and antimicrobial compounds. They also can mitigate pesticide stress of crops. An anti-stress biological product containing them has been developed and tentatively named "AGROBIOLOG". For its production, the optimal composition of the nutrient medium and the conditions for industrial submerged cultivation on reactors of various volumes were determined. In the laboratory fermenter FA-10 with a volume of 10 liters after 72 hours of cultivation at a temperature of 28 °C, a stirrer speed of 200 rpm, aeration of 0.5 volumes of air per 1 min per 1 volume of medium, the amount of viable cells was 28 billion CFU/ml of culture liquid. Cultivation on biological reactors with a volume of 1000 liters under the same conditions allowed to achieve a titer of 6.0 billion CFU/ml of culture liquid.

**Keywords:** plant stress neutralizer, biological product, PGPB, PSMB, plant productivity.

## Introduction

The productivity of agricultural plants is directly related to the use of methods for their integrated protection from stress effects: diseases, pests, drought, and weeds. Pesticides are an important element in intensive plant cultivation systems. At least 60% of them are herbicides [1]. Their use, in turn, not only leads to environmental pollution, damages soil fertility and microbiota, but also significantly affects crops [2-4]. It is possible to mitigate these stressful effects with the use of bacterial antistress agents.

In crop production, there is a growing interest in the bacterial-based products that have a positive influence on the growth and development of agricultural plants. The plant growth stimulation is usually caused by a complex of beneficial properties of bacteria, such as the ability to nitrogen fixation, phosphate dissolution, synthesis of phytohormones and antimicrobial compounds, competition for nutrients and roots surface with pathogens [5-7]. According to the scientific review, the treatment of crops with growth-stimulating bacteria (plant growth promoting bacteria – PGPB) turns out to be the most effective in overcoming abiotic stresses [8, 9]. Their use can improve the plants growth exposed

to herbicides and drought [3]. Still reports on the mitigation of pesticide stress of plants by bacteria are few [10-11]. In this case, the ability of bacteria to effectively combine with chemical herbicides comes to the fore. It assumes their resistance to herbicides [12], and the ability to have a complex positive effect on the plant, including protection from moisture deficiency [13] and pathogens [14] against the background of herbicides.

Therefore, the development of biological products based on pesticide stress mitigating bacteria (PSMB) for stimulating the growth of agricultural crops becomes relevant.

## Materials and Methods

The purpose of the work is to screen new bacteria that are resistant to herbicides of different chemical structures and promote plant growth, to create on its basis an anti-stress biological product with the operational name "AGROBIOLOG" and optimizing the conditions of its industrial production.

Two methods were used for screening: sowing on microbiological media directly from freshly harvested soil and obtaining enrichment cultures from soil samples with addition of herbicides, of which, after a month of incubation at a temperature of 28 °C, inoculation on selective nutrient media

Для цитирования

Четвериков С.П., Четверикова Д.В., Худайгулов Г.Г., Бакаева М.Д., Кенджиева А.А. Разработка биопрепарата "АГРОБИОЛОГ" для снижения пестицидного стресса сельскохозяйственных растений и стимулирования их роста // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 86–90. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-86-90

For citation

Chetverikov S.P., Chetverikova D.V., Hkudaygulov G.G., Bakaeva M.D., Kendjjeva A.A. Designing of the Biological Product "AGROBIOLOG" for Mitigating Pesticide Stress in Agricultural Plants and Stimulating Their Growth. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 86–90. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-86-90

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

containing herbicides was carried out. The Raymond mineral medium was used as the basis for the media with the addition of, as selective agents, herbicides based on 2,4-dichlorophenoxyacetic acid usually used on wheat crops (Octapon extra (2,5 g/l), Florax (2,5 g/l), Dicamba (1 g/l), Chistalan (2,5 g/l)) and based on sulfonylureas (Nanomet (1 g/l), Spetsnaz (1 g/l)). The concentrations of herbicides in the medium were selected based on the concentration of their working solution according to the manufacturers recommendations.

Antagonism to phytopathogens was determined by the simultaneous cultivation of bacteria and fungi in Petri dishes. Testing was performed on the following mycelial fungi: *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker, *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) Sacc. BKM F-844, *F. gibbosum* Appel et Wollenw BKM F-848, *F. graminearum* Schwabe BKM F-1668, *F. solani* (Mart) Sacc. BKM F-142, *F. oxysporum* Schltdl BKM F-137, *F. nivale* (Fr.) Ces. Ex Sacc. BKM F-3106, *F. semitectum* BKM F-1938, *F. avenaceum* BKM F-132, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. BKM F-3047, *Rhizoctonia solani* J.G. Kuehn BKM F-895. To measure the nitrogenase activity, an acetylene assay was used, according to the methodology [15]. The ability of the strain to synthesize IAA was determined using the method of enzyme immunoassay [16]. The solubilization of phosphates was evaluated by the formation of a clear halo around the bacterial colony after five incubation days at 28 °C in the Pikovskaya agar as described [17].

When optimizing the cultivation conditions, we relied on the experience of obtaining biological products for agricultural purposes based on

pseudomonads [4]. Biological reactors of various volumes were used for scaling (LLC firm "Prointech", Pushchino, Russia).

## Results

A scheme for the selection of anti-stress bacterial agents is proposed (fig. 1), the main condition is the resistance of microorganisms to herbicides.

### Stage 1. Herbicide resistance

**Stage 2.** Availability of PGPB properties: production of phytohormones, production of antibiotics, nitrogen fixation, phosphorus mineralization.

**Stage 3.** The presence of positive properties of PGPB in the presence of herbicides

Figure 1. Scheme of selection of potential anti-stress agents for the protection of agricultural plants

Рисунок 1. Схема подбора потенциальных анти-стрессовых средств для защиты сельскохозяйственных растений

Microbes resistant to herbicides were isolated from 178 soil samples taken on the territory of agricultural lands and industrial zones of the Republic of Bashkortostan, industrial area in the Komi Republic (Russia). After studying their properties, 11 isolates were selected from them (Table 1). The selection criteria were the presence of agronomically valuable characteristics, resistance to herbicides and the ability to grow using different herbicides as a source of nutrients. When testing new strains for resistance in tank mixtures, it was found that the most toxic of the tested for bacteria was the herbicide Chistalan (Table 1). Apparently, the toxicity of Chistalan is also due to the lower probability of detecting its destructors.

Table 1.

The ability of new isolates to grow in a medium with herbicides as the sole source of carbon and energy

Таблица 1.

Способность новых изолятов к росту в среде с гербицидами в качестве единственного источника углерода и энергии

Isolate	Herbicide					
	Dicamba	Octapon	Nanomet	Florax	Chistalan	Spetsnaz
CH.3.1	–	++	–	+	–	+
12N1	++	++	++	++	–	+
CH5% 1	+	++	+	++	+	+
CH5% 2	++	++	++	+	+	+
6CH1	++	++	–	++	+	+
6CH2	++	+	++	+	++	+
5N1	++	++	++	++	–	+
ДД4	+	+	+	–	+	+
DA1.2	++	++	++	++	++	+
NG	++	++	++	++	++	+
NEKR	++	++	+	++	–	++

Note: ++ active growth, + weak growth, – no growth

The isolates DA1.2, 6CH2, CH5% 2, which were identified as *Pseudomonas protegens*, *P. avallanae* and *P. plecoglossicida*, respectively,

were the most promising in the scope of the studied problem according to the set of abilities. Their agronomically valuable characteristics of PGPB are

presented in Table 2, according to which and increased up to 200% level of antifungal activity (the diameters of the growth inhibition zone of the studied fungi are in the range of 30–40 mm) the strain DA1.2 is the best for creating the biological product "AGROBIOLOG".

Table 2.  
Properties of potential bacterial antistressants  
Таблица 2.  
Свойства потенциального бактериального  
антистрессового средства

Strain	Nitrogenase activity, nmol C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ·h <sup>-1</sup> ·ml <sup>-1</sup>	Synthesis of auxins, ng/ml	Phosphates solubilization
<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> CH5% 2	20,7 ± 0,2	323 ± 16	+
<i>P. avallanae</i> 6CH2	19,8 ± 0,2	169 ± 8	+
<i>P. protegens</i> DA1.2	20,8 ± 0,3	870 ± 44	+

The composition of the nutrient medium (g/l) was selected for the production of the biological product "AGROBIOLOG": peptone-2, yeast extract-2, glycerin-5, NaCl-3, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>-2, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O-1, as the most optimal in terms of the ratio of the cost of components and the final titer of the culture fluid. When cultured in a laboratory fermenter FA-10 with a volume of 10 liters at a temperature of 28 °C, stirrer speed-200 rpm, aeration-0,5 air volume per 1 min per 1 volume of medium for 72 hours, the concentration of viable cells was 2,8·10<sup>10</sup> CFU/ml. Cultivation in a reactor with a volume of 1000 liters under the same conditions allows achieving a titer of 6,0·10<sup>9</sup> CFU/ml.

### Discussion

Almost all isolates were able to produce auxins. It is known that auxins accumulation in roots

helps to increase the volume of the root system of plants and allows to accelerate the pathogen-sensitive stages of its development [18]. It also supports the plant having water deficiency [19].

The joint cultivation of the new bacterial strains with fungal mycelium showed their ability to antagonize phytopathogens. Their fungistatic activity was expressed as strongly as in previously isolated cultures of *Pseudomonas* [20]. However, unlike them, they are stable and able to grow in environments polluted by herbicides based on low-volatile esters of 2,4-D and sulfonylurea.

The optimization of the nutrient medium and cultivation conditions makes it possible to obtain the culture of *P. protegens* DA1.2 containing at least 5 billion CFU/ml of culture fluid without losing its characteristic properties. This meets the requirements of industrial cultivation of microorganisms and makes the biological product "AGROBIOLOG" promising for industrial production

### Conclusion

An anti-stress biological product "AGROBIOLOG" based on PSMB has been developed. It can be used as a biofungicide, biofertilizer or safener in classic tank mixtures with herbicides. The useful properties (fixation of molecular nitrogen, immobilization of phosphorus, disease control), in addition to its effect on the mechanisms of stress in plants, increases its practical and commercial value.

### Acknowledgments

The study was supported by funding the theme № 075-03-2021-607 от 29.12.2020 по теме №122031000309-7 by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. This study was carried out using the equipment of the Regional Center for Shared Use «Agidel».

### References

- Dayan F.E. Current status and future prospects in herbicide discovery. *Plants*. 2019. vol. 8.no. 9. pp. 341. doi: 10.3390/plants8090341
- Pereira S.P., Santos S.M., Fernandes M.A., Deus C.M. et al. Improving pollutants environmental risk assessment using a multi model toxicity determination with in vitro, bacterial, animal and plant model systems: The case of the herbicide alachlor. *Environmental Pollution*. 2021. vol. 286. pp. 117239. doi:10.1016/j.envpol.2021.117239
- Bakaeva M., Chetverikov S., Timergalin M., Feoktistova A. et al. PGP-Bacterium *Pseudomonas protegens* improves bread wheat growth and mitigates herbicide and drought stress. *Plants*. 2022. vol. 11. no. 23. pp. 3289. doi: 10.3390/plants11233289
- Zhang Y., Hu Y., An N., Jiang D. et al. Short-term response of soil enzyme activities and bacterial communities in black soil to a herbicide mixture: Atrazine and Acetochlor. *Applied Soil Ecology*. 2023. vol. 181. no 1. pp. 104652. doi: 10.1016/j.apsoil.2022.104652
- Etesami H., Adl S. M. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and their action mechanisms in availability of nutrients to plants. *Phyto-Microbiome in stress regulation*. 2020. pp. 147-203. doi:10.1007/978-981-15-2576-6\_9
- Basu A., Prasad P., Das S.N., Kalam S. et al. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*. 2021. vol. 13. no 3. pp. 1140. doi: 10.3390/su13031140
- Santoyo G., Urtis-Flores C.A., Loeza-Lara P.D., Orozco-Mosqueda M.D.C. et al. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Biology*. 2021. vol. 10. no 6. pp. 475. doi: 10.3390/biology10060475

- 8 Ha-Tran D.M., Nguyen T.T.M., Hung S.H., Huang E. et al. Roles of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. vol. 22. no 6. pp. 3154. doi:10.3390/ijms22063154
- 9 Munir N., Hanif M., Abideen Z., Sohail M. et al. Mechanisms and strategies of plant microbiome interactions to mitigate abiotic stresses. *Agronomy*. 2022. vol. 12. no 9. pp. 2069. doi: 10.3390/agronomy12092069
- 10 Jiang Z., Jiang D., Zhou Q., Zheng Z. et al. Enhancing the atrazine tolerance of *Pennisetum americanum* (L.) K. Schum by inoculating with indole-3-acetic acid producing strain *Pseudomonas chlororaphis* PAS18. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020. vol. 202. pp. 110854. doi:10.1016/j.ecoenv.2020.110854
- 11 Motamedi M., Zahedi M., Karimmojeni H., Baldwin T.C. et al. Rhizosphere-associated bacteria as biofertilizers in herbicide-treated alfalfa (*Medicago sativa*). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2023. vol. 23. pp. 2585–2598. doi:10.1007/s42729-023-01214-6
- 12 Sarvani B., Reddy R.S., Prasad J.S. Characterization of plant growth promoting rhizobacteria for compatibility with commonly used Agrochemicals. *Ecology, Environment and Conservation*. 2021. vol. 27. pp. 264-269.
- 13 Ma Y.N., Theerakulpisut P., Riddech N. Pesticide tolerant rhizobacteria isolated from rice (*Oryza sativa*) overcomes the effects of salt and drought stress in pesticide contaminated condition. *Plant and Soil*. 2023. vol. 490. no 1. pp. 521-539. doi: 10.1007/s11104-023-06098-0
- 14 Roy T., Das N., Majumdar S. Pesticide tolerant rhizobacteria: paradigm of disease management and plant growth promotion. *Plant microbe symbiosis*. 2020. pp. 221-239. doi:10.1007/978-3-030-36248-5\_12
- 15 Montes Luz B., Conrado A.C., Ellingsen J.K., Monteiro R.A. et al. Acetylene Reduction Assay: A Measure of Nitrogenase Activity in Plants and Bacteria. *Current Protocols*. 2023. vol. 3. no 5. Available at: <https://currentprotocols.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cpz1.766>
- 16 Arkhipova T.N., Galimsyanova N.F., Kuzmina L.Y., Vysotskaya L.B. Effect of seed bacterization with plant growth-promoting bacteria on wheat productivity and phosphorus mobility in the rhizosphere. *Plant, Soil and Environment*. 2019. vol. 65. no. 6. pp. 313–319.
- 17 Sanchez-Gonzalez M.E., Mora-Herrera M.E., Wong-Villarreal A., De La Portilla-López N. et al. Effect of pH and Carbon Source on Phosphate Solubilization by Bacterial Strains in Pikovskaya Medium. *Microorganisms*. 2022. vol. 11. no. 1. pp. 49. doi:10.3390/microorganisms11010049
- 18 Kurepa J., Smalle J.A. Auxin/cytokinin antagonistic control of the shoot/root growth ratio and its relevance for adaptation to drought and nutrient deficiency stresses. *International journal of molecular sciences*. 2022. vol. 23. no 4. pp. 1933. doi: 10.3390/ijms23041933
- 19 He Y., Liu Y., Li M., Lamin-Samu A.T. et al. The Arabidopsis SMALL AUXIN UP RNA32 protein regulates ABA-mediated responses to drought stress. *Frontiers in plant science*. 2021. vol. 12. pp. 625493. doi: 10.3389/fpls.2021.625493
- 20 Korshunova T.Y., Bakaeva M.D., Kuzina E.V., Rafikova G.F. et al. Role of Bacteria of the Genus *Pseudomonas* in the Sustainable Development of Agricultural Systems and Environmental Protection. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2021. vol. 57. no 3. pp. 281–296. doi: 10.1134/S000368382103008X

#### Information about authors

**Sergey P. Chetverikov** Dr. Sci. (Biol.), leading researcher, laboratory of agrobiolgy, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, October Av., 69, Ufa 450054, Russia, [che-kov@mail.ru](mailto:che-kov@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-7961-1503>

**Darya V. Chetverikova** Cand. Sci. (Engin.), senior researcher, laboratory of agrobiolgy, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, October Av., 69, Ufa 450054, Russia, [belka-strelka8031@ya.ru](mailto:belka-strelka8031@ya.ru)

<https://orcid.org/0000-0002-4917-0831>

**Gaisar G. Hkudaygulov** Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, laboratory of agrobiolgy, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, October Av., 69, Ufa 450054, Russia, [bio.logos@ya.com](mailto:bio.logos@ya.com)

<https://orcid.org/0000-0001-9652-6565>

**Margarita D. Bakaeva** Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, laboratory of agrobiolgy, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, October Av., 69, Ufa 450054, Russia, [margo22@yandex.ru](mailto:margo22@yandex.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-8738-4534>

**Aliya A. Kenjjeva** junior research fellow, laboratory of agrobiolgy, Ufa Institute of biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, October Av., 69, Ufa 450054, Russia, [aliya\\_kendzieva@mail.ru](mailto:aliya_kendzieva@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0003-2547-4440>

#### Contribution

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 04/10/2023


Accepted in revised 25/10/2023


Accepted 23/11/2023


## Разработка биопрепарата "АГРОБИОЛОГ" для снижения пестицидного стресса сельскохозяйственных растений и стимулирования их роста


**Аннотация.** Представлены результаты селекции новых бактерий, стимулирующих рост сельскохозяйственных растений и устойчивых к гербицидам различной химической структуры. Для скрининга использовались два метода: посев на микробиологические среды из свежесобранной почвы и получение обогащенных культур микроорганизмов из образцов почвы, подвергнутых воздействию гербицидов в течение месяца при температуре 28°C. Бактерии изолировали на селективных питательных средах, содержащих гербициды Октапон экстра (2,5 г/л), Флоракс (2,5 г/л), Дикамба (1 г/л), Наномет (1 г/л), Спецназ (1 г/л) или Чисталан (2,5 г/л). Эти гербициды обычно используются для борьбы с сорняками в посевах пшеницы. Выделенные микроорганизмы принадлежат к роду *Pseudomonas*, фиксируют атмосферный азот, мобилизуют нерастворимые фосфаты, синтезируют фитогормоны и антимикробные соединения. Они также могут смягчать проявления пестицидного стресса у сельскохозяйственных растений. Был разработан содержащий новые штаммы бактерий антистрессовый биопрепарат, получивший предварительное название "АГРОБИОЛОГ". Для его производства был подобран оптимальный состав питательной среды и условия промышленного глубинного культивирования в биологических реакторах различного объема. В лабораторном ферментере FA 10 объемом 10 литров после 72 часов культивирования при температуре 28°C, скорости перемешивания 200 об/мин, аэрации 0,5 объема воздуха в 1 мин на 1 объем среды количество жизнеспособных клеток составило 28 млрд. КОЕ/мл жидкой культуры. Культивирование в биологических реакторах объемом 1000 литров при тех же условиях позволило достичь титра 6,0 млрд КОЕ/мл жидкой культуры.


**Ключевые слова:** нейтрализатор стресса растений, биопрепарат, PGPB, PSMB, продуктивность растений.

**Сергей П. Четвериков** д.б.н., ведущий научный сотрудник, лаборатория агробиологии, Уфимский Институт биологии — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, пр-т Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, che-kov@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-7961-1503>




**Гайсар Г. Худайгулов** к.б.н., старший научный сотрудник, лаборатория агробиологии, Уфимский Институт биологии — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, пр-т Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, bio.logos@ya.com  
 <https://orcid.org/0000-0001-9652-6565>

**Алия А. Кенджиева** младший научный сотрудник, лаборатория агробиологии, Уфимский Институт биологии — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, пр-т Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, aliya\_kendzieva@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-2547-4440>

**Дарья В. Четверикова** к.т.н., старший научный сотрудник, лаборатория агробиологии, Уфимский Институт биологии — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, пр-т Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, belka-strelka8031@ya.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-4917-0831>

**Маргарита Д. Бакаева** к.б.н., старший научный сотрудник, лаборатория агробиологии, Уфимский Институт биологии — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, пр-т Октября, 69, г. Уфа, 450054, Россия, margo22@yandex.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-8738-4534>

## Синтез индол 3 уксусной кислоты при совместном культивировании дрожжей и бактерий

Александр С. Пронин<sup>1</sup> [proninbio@gmail.com](mailto:proninbio@gmail.com)  0000-0001-5196-9418  
Татьяна С. Колмыкова<sup>1</sup> [tskolmykova@ya.ru](mailto:tskolmykova@ya.ru)  0000-0002-0581-8288  
Александр С. Лукаткин<sup>2</sup> [alexlykatkin@ya.ru](mailto:alexlykatkin@ya.ru)  0000-0002-8174-5367




1 Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск, ул. Большевикская 33, Россия

2 Лицей № 31.430034 Россия, г. Саранск, ул. Metallurgov, 2, Россия

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию штаммов дрожжей и бактерий, которые являются потенциальными компонентами для состава при разработке биопрепаратов для растений. Эксперименты с совместным культивированием бактерий и дрожжей способные к стимуляции роста растений предоставляют основу для разработки комплексных биопрепаратов, которые могут воздействовать на сельскохозяйственные культуры и оцениваться по их фитогормональной активности. В работе дана оценка возможности синтеза индо-3 уксусной кислоты при совместном культивировании бактерии *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aerofaciens* B-5326 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317. Мы использовали современные методы для оценки метаболитов микроорганизмов такие как, тонкослойная хроматография для оценки аминокислотного состава, и реакцию сальковского для обнаружения индол-3 уксусной кислоты в культуральной жидкости. На первом этапе работы мы показали, что конкурентного взаимодействия между бактериями и грибами не было. Максимальная концентрация колония образующих единиц при совместном культивировании *P. chlororaphis* и *S. Cerevisiae* составила  $(3 \pm 0,2) \times 10^8$  и  $(8 \pm 0,2) \times 10^6$  КОЕ/мл. В ходе исследования обнаружили, что микроорганизмы *P. chlororaphis* и *S. cerevisiae* при совместном культивировании способны синтезировать индол-3 уксусную кислоту. В исследованиях с добавлением триптофана обнаружили, что экзогенное введение аминокислоты стимулирует накопление фитогормонов в КЖ только у *P. chlororaphis*. Таким образом, мы предполагаем, что основным источником триптофана при совместном культивировании микроорганизмов является *S. cerevisiae*. Полученные данные являются предпосылкой к созданию комплексного биологического препарата для обработки растений и подтверждает нашу гипотезу о возможности совместного культивирования микроорганизмов относящихся к различной таксономическим категориям.

**Ключевые слова:** *Pseudomonas chlororaphis*, *Saccharomyces cerevisiae*, индол 3 уксусная кислота, триптофан, PGBPB, PGPF.

## Synthesis of indole 3 acetic acid during co-cultivation of yeast and bacteria

Alexander S. Pronin<sup>1</sup> [proninbio@gmail.com](mailto:proninbio@gmail.com)  0000-0001-5196-9418  
Tatiana S. Kolmykova<sup>1</sup> [tskolmykova@ya.ru](mailto:tskolmykova@ya.ru)  0000-0002-0581-8288  
Alexander S. Lukatkin<sup>2</sup> [alexlykatkin@ya.ru](mailto:alexlykatkin@ya.ru)  0000-0002-8174-5367

1 National Research Mordovia State University, 68, ul. Bolshevistskaya, Saransk, 430005 Russia, e-mail

2 Lyceum No. 31, 2, ul. Metallurgov, Saransk, 430034 Russia.

**Abstract.** The work is dedicated to the study of yeast and bacterial strains that are potential components for developing bio-preparations for plants. Experiments involving the co-cultivation of bacteria and yeast capable of stimulating plant growth provide a basis for the development of complex bio-preparations that can impact agricultural crops and be evaluated based on their phytohormonal activity. The study evaluates the possibility of synthesizing indole-3-acetic acid during the co-cultivation of *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aerofaciens* B 5326 bacteria and *Saccharomyces cerevisiae* Y 4317 yeast. Modern methods were employed to assess the microorganisms' metabolites, such as thin-layer chromatography for amino acid composition evaluation and the Salkowski reaction for detecting indole-3-acetic acid in the culture fluid. In the initial stages of the work, it was demonstrated that there was no competitive interaction between bacteria and fungi. The maximum concentration of colony-forming units during the co-cultivation of *P. chlororaphis* and *S. cerevisiae* was  $(3 \pm 0.2) \times 10^8$  and  $(8 \pm 0.2) \times 10^6$  CFU/ml, respectively. The study revealed that *P. chlororaphis* and *S. cerevisiae* could synthesize indole-3-acetic acid during co-cultivation. Experiments with the addition of tryptophan showed that the exogenous introduction of the amino acid stimulates the accumulation of phytohormones in the culture fluid only for *P. chlororaphis*. Therefore, we hypothesize that *S. cerevisiae* is the main source of tryptophan during the co-cultivation of microorganisms. The obtained data serve as a basis for creating a complex biological preparation for plant treatment and confirm our hypothesis regarding the possibility of co-cultivating microorganisms belonging to different taxonomic categories.

**Keywords:** *Pseudomonas chlororaphis*, *Saccharomyces cerevisiae*, indole 3 acetic acid, tryptophan, PGBPB, PGPF.

Для цитирования

Пронин А.С., Колмыкова Т.С., Лукаткин А.С. Синтез индол 3 уксусной кислоты при совместном культивировании дрожжей и бактерий // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 91–95. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-91-95

For citation

Pronin A.S., Kolmykova T.S., Lukatkin A.S. Synthesis of indole 3 acetic acid during co-cultivation of yeast and bacteria. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 91–95. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-91-95

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

## Введение

На сельскохозяйственном мировом рынке наблюдается растущий интерес к использованию биологических средств защиты растений и ростовых стимуляторов. Эта тенденция подчеркнута исследованиями [3]. Производство таких препаратов включает использование различных культур микроорганизмов, таких как ростопромо-тирующие бактерии (PGPB) и грибы (PGPF) [4, 5]. Современные исследования акцентируют внимание на способности PGPB и PGPF к синтезу природных гормонов роста, таких как ауксины, цитокинины и гиберилины [1, 7, 8]. Производство этих веществ микробиологическим путем может привести к экономическому эффекту в сельском хозяйстве. Некоторые исследования демонстрируют, что определенные штаммы *Pseudomonas* не только обладают фунгицидными свойствами, но и способны синтезировать ауксины [6]. Наши исследования фокусировались на совместном культивировании бактерии *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* B 5326 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Y 4317, где мы выявили их способность синтезировать фитогормоны и накапливать их в культуральной жидкости. Эксперименты с совместным культивированием PGPB [13] и PGPF [14, 15] предоставляют основу для разработки комплексных биопрепаратов, которые могут воздействовать на сельскохозяйственные культуры и оцениваться по их фитогормональной активности.

## Материалы и методы

Цель исследования: оценка возможности синтеза IAA при совместном культивировании бактерии *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* B-5326 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317.

Задачи: 1) исследование возможности совместного культивирования PGPB и PGPF 2) исследование способности синтезировать IAA *P. chlororaphis* и *S. Cerevisiae* в присутствии/отсутствии L-триптофана 3) Оценка способности *S. Cerevisiae* синтезировать триптофан.

В качестве посадочного материала использовали штаммы бактерии *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* B-5326 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317 (Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИГенетика).

Режимы культивирования микроорганизмов и состав питательной среды. На первом этапе культивирование исследуемых микроорганизмов осуществляли отдельно в колбах объемом 250 мл на шейкере-инкубаторе SPH-2102 (BIORUS, Минск, Беларусь) при температуре 28 °C и частоте

перемешивания 130 RPM. Среда для выращивания микроорганизмов содержала глюкозу 10 г/л,  $\text{NaNO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – по 0,5 г/л. Дрожжевой экстракт 1 г/л. Спустя 48 ч титр посадочного материала составил  $10^7$  и  $10^5$  КОЕ/мл для *P. chlororaphis* и *S. cerevisiae*, соответственно. На втором этапе из двух колб отбирали по 15 мл культуральной жидкости и переносили в колбу объемом 500 мл. Состав питательной среды для совместного роста микроорганизмов: свекловичная меласса 25 г/л пептон 0,5 г/л, дрожжевой экстракт 1 г/л,  $\text{NaNO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – по 0,5 г/л.

Определение содержания аминокислот: определяли методом ТСХ. Использовали стандарты 20 аминокислот фирмы Sigma (США). Пробы культуральной жидкости, отбирали по 1,5 мл, центрифугировали на центрифуге MiniSpin® (Eppendorf, Гамбург, Германия) при 6000 об/мин в течение 20 мин. ТСХ-пластинки промывали смесью хлороформ-метанол (1:1 по объему) и активировали в течение 15 мин при 120 °C. Объем наносимых проб – 0,5 мкл. Подвижная фаза состояла из изобутанола, изопропанола, воды и ледяной уксусной кислоты (5:4:3:0.2 по объему), Насыщение камеры – 1,0–1,5 ч. Время разделения 1,5–2 ч.

Количественно аминокислоты определяли на денситометре CS-920 фирмы Shimadzu (Киото, Япония) и TLC Scanner 3 (Camag, Муттенц, Швейцария) при длине волны 500 нм.

Подсчёт клеток микроорганизмов осуществляли на фиксированных окрашенных мазках методом Виноградского-Брида (Теппер, 2004).

Для обнаружения в культуральной жидкости ауксина и определения его концентрации проводили реакцию Сальковского [9]. После прохождения цветной реакции концентрацию IAA определяли фотометрически на спектрофотометре UV-1900 (Shimadzu, Киото, Япония) при длине волны 546 нм.

## Результаты

На первом этапе работы проводили совместное культивирование *P. chlororaphis* и *S. Cerevisiae*. В ходе исследования мы обнаружили активный рост колоний бактерий и дрожжей при совместном культивировании на мелассной среде. Анализируя полученную картину исследования, мы не обнаружили конкурентного взаимодействия между микроорганизмами двух таксономических групп. Это позволило нам предположить, что в КЖ отсутствуют ростиингирующие для данных организмов метаболиты.

Максимальная концентрация при совместном культивировании *P. chlororaphis* и *S. Cerevisiae* составила  $(3 \pm 0,2) \times 10^8$  и  $(8 \pm 0,2) \times 10^6$  КОЕ/мл (рисунок 1).

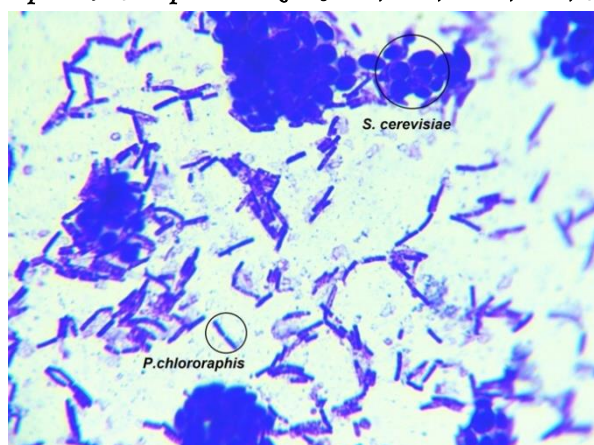


Рисунок 1. Микроскопия *P. chlororaphis* и *S. Cerevisiae* при совместном культивировании

Figure 1. Microscopy of *P. chlororaphis* and *S. Cerevisiae* during co-cultivation

Основным показателем эффективности биопрепаратов является жизнеспособность клеток микроорганизмов и их способность синтезировать в среду биологически активные вещества, в нашем случае – фитогормоны [17–18]. В нашем исследовании в качестве фитогормонального маркера в КЖ служила индол 3-уксусная кислота. Мы сравнили способность синтезировать IAA микроорганизмами при раздельном культивировании при добавлении аминокислоты триптофана (100 мкг/мл) и в её отсутствии (контроль) [19–20]

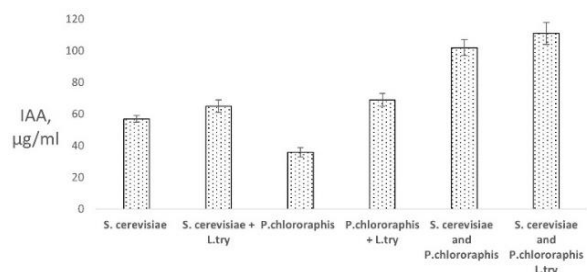


Рисунок 2. Содержание IAA в культуральной жидкости исследуемых микроорганизмов

Figure 2. IAA content in the culture liquid of the studied microorganisms

При раздельном культивировании микроорганизмов содержание IAA в культуральной жидкости *S. cerevisiae* составило  $57 \pm 3$  мкг/мл и  $36 \pm 2$  мкг/мл в КЖ *P. chlororaphis* (рисунок 2). Очевидно, что дрожжи являются основным продуцентом IAA. При добавлении в среду для роста клеток аминокислоты L-триптофан, содержание IAA достоверно увеличилось по сравнению со средой без добавления аминокислоты только в вариантах с бактериями *P. chlororaphis* B-5326. Содержание IAA увеличилось по сравнению с контролем на 78%. В вариантах с дрожжами *S. cerevisiae* содержание IAA увеличивалось по сравнению с контролем только на 14%. Мы предположили, что дрожжи способны самостоятельно синтезировать L-триптофан. При совместном

культивировании *P. chlororaphis* и *S. cerevisiae* мы зафиксировали увеличение содержания IAA в культуральной жидкости более чем в два раза, по сравнению с раздельным способом культивирования. Без добавления L-триптофана содержания IAA составило  $102 \pm 5$ , при добавлении аминокислоты содержание IAA увеличилось незначительно в пределах ошибки ( $111 \pm 7$  мкг/мл).

Поэтому на следующем этапе мы экспериментальным методом изучили способность данного штамма дрожжей продуцировать L-триптофан. Методом ТСХА обнаружили, что в ходе роста исследуемого штамма дрожжей в КЖ накапливается аминокислота триптофан в концентрации 44 мкг/мл (рисунок 3).

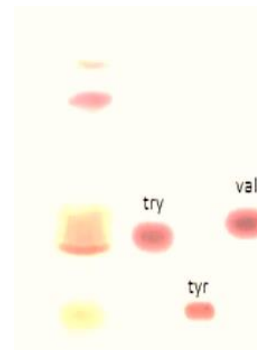


Рисунок 3. Хроматограмма аминокислотного состава *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317

Figure 3. Chromatogram of the amino acid composition of *Saccharomyces cerevisiae* Y 4317

Полученные данные подтверждают, что при совместном росте *P. chlororaphis* B-5326 и *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317, последние выделяют в среду достаточно аминокислоты для биосинтеза IAA микроорганизмами. Следовательно, совместное культивирование дрожжей и бактерий позволяет не только повысить жизнеспособность бактерий в логарифмическую фазу роста, но и накапливать в среде больше IAA за счёт синтеза дрожжами триптофана.

### Обсуждение

Известно, что L-триптофан является предшественником индол-3 – уксусной кислоты в метаболизме растений, некоторых бактерий и грибов. Бактерии рода *Pseudomonas* способны синтезировать IAA по индол-3-ацетамидному пути, где основным компонентом является L-триптофан. Ключевым ферментом при синтезе является индолацетамид гидролаза [2] основным предшественником – L-триптофан. В ранее проведенных исследованиях [3] показано, что бактерии *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas sp* способны синтезировать IAA в концентрации 16 µg/mL без присутствия экзогенного L-триптофана и 108 µg/mL при его добавлении в среду в концентрации 0,2 г/L [16] Результаты нашего эксперимента согласуются с вышеописанными.

Но в своей работе мы использовали более низкую концентрацию триптофана.

Другие авторы так же отмечают способность некоторых дрожжей таких как *Sporobolomyces*, *Taphrina*, *Metschnikowia*, *Aureobasidium* синтезировать ауксины [11]. В исследованиях [10], показано, что *S. cerevisiae* с делециями в двух генах (*Ald*) не способен конвертировать радиоактивно меченый Трп в IAA, но продуцирует IAA в отсутствие L-Трп и на уровнях выше, чем у дикого типа штамма дрожжей. Эти данные предполагают, что дрожжи могут иметь несколько путей синтеза IAA. Таким образом, при совместном росте с *S. cerevisiae* и *P. chlororaphis* увеличение синтеза IAA у последних, можно объяснить способностью накапливать триптофан в культуральной жидкости *S. cerevisiae*.

### Заключение

Настоящая работа посвящена изучению возможности совместного культивирования PGPB и PGPF микроорганизмов. Мы показали,

что конкурентного взаимодействия между бактериями и грибами не было. Максимальная концентрация колония образующих единиц при совместном культивировании *P. chlororaphis* и *S. Cerevisiae*. составила  $(3 \pm 0,2) \times 10^8$  и  $(8 \pm 0,2) \times 10^6$  КОЕ/мл.

В ходе исследования обнаружили, что микроорганизмы *P. chlororaphis* и *S. cerevisiae* при совместном культивировании способны синтезировать IAA в максимальной концентрации  $111 \pm 7$  мкг/мл. В исследованиях с добавлением триптофана обнаружили, что экзогенное введение аминокислоты стимулирует накопление IAA в КЖ только у *P. chlororaphis*. Таким образом, мы предполагаем, что основным источником триптофана при совместном культивировании микроорганизмов является *S. cerevisiae*. Полученные данные являются предпосылкой к созданию комплексного биологического препарата для обработки растений и подтверждает нашу гипотезу о возможности совместного культивирования PGPB и PGPF.

### Литература

- 1 Batabyal B. Plant Growth Promoting Fungi: Mechanisms and Applications for Crop Productivity // *International Journal of Pharmacy & Life Sciences*. 2021. V. 12. №. 1.
- 2 Duca D.R., Glick B.R. Indole-3-acetic acid biosynthesis and its regulation in plant-associated bacteria // *Applied microbiology and biotechnology*. 2020. V. 104. P. 8607-8619.
- 3 Kocira S., Hara P., Szparaga A., Czerwińska E. et al. Evaluation of the Effectiveness of the Use of Biopreparations as Seed Dressings // *Agriculture*. 2020. V. 10. №. 4. P. 90.
- 4 Kumar A., Singh S., Gaurav A.K., Srivastava S. et al. Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants // *Frontiers in Microbiology*. 2020. V. 11. P. 1216. doi: 10.3389/fmicb.2020.01216
- 5 Li M., Wang J., Yao T., Wang Z. et al. Isolation and characterization of cold-adapted PGPB and their effect on plant growth promotion // *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2021. V. 31. №. 9. P. 1218. doi: 10.4014/jmb.2105.05012
- 6 McClerklin S.A., Lee S.G., Harper C.P., Nwumeh R. et al. Indole-3-acetaldehyde dehydrogenase-dependent auxin synthesis contributes to virulence of *Pseudomonas syringae* strain DC3000 // *PLoS pathogens*. 2018. V. 14. №. 1. P. e1006811.
- 7 Olanrewaju O.S., Glick B.R., Babalola O.O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2017. V. 33. P. 1-16.
- 8 Oliveira J.T.C., Pereira A., Souza A.J., Silva G.T. et al. Plant growth-promoting mechanisms and genetic diversity of bacteria strains isolated from *Brachiaria humidicola* and *Brachiaria decumbens* // *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2021. V. 93.
- 9 Patten C.L., Glick B.R. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system // *Applied and environmental microbiology*. 2002. V. 68. №. 8. P. 3795-3801. doi: 10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002
- 10 Rao R.P., Hunter A., Kashpur O., Normanly J. Aberrant synthesis of indole-3-acetic acid in *Saccharomyces cerevisiae* triggers morphogenic transition, a virulence trait of pathogenic fungi // *Genetics*. 2010. V. 185. №. 1. P. 211-220. doi: 10.1534/genetics.109.112854
- 11 Streletskaia R.A., Kachalkin A.V., Glushakova A.M., Demin V.V. et al. Quantitative determination of indole-3-acetic acid in yeasts using high performance liquid chromatography—tandem mass spectrometry // *Microbiology*. 2016. V. 85. P. 727-736.
- 12 Теплер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии: учебное пособие для вузов; 5-е изд., перераб. и доп. М.: Дрофа, 2004.
- 13 Ajijah N., Fiodor A., Pandey A.K., Rana A. et al. Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) with biofilm-forming ability: A multifaceted agent for sustainable agriculture // *Diversity*. 2023. V. 15. №. 1. P. 112.
- 14 Wang C., Lin Y., Huang J., Song H. et al. *Pseudomonas aeruginosa* targeting cascade photodynamic nanoassemblies for efficient antibacterial and anti-inflammatory therapy // *Nano Today*. 2023. V. 51. P. 101892. doi: 10.1016/j.nantod.2023.101892
- 15 Rabert G.A., Dhivya A., Navaneetha P., Mathivanan S. et al. A study on the impact of Plant Growth Promoting Fungus (PGPF) and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers for *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench // *Innovations in Agriculture*. 2023. V. 4. P. 1-1.
- 16 Onrit N., Boonlue S., Mongkolthanaruk W., Jogloy S. et al. Alternative Nitrogen Source for Producing Crude Extracted IAA and Suitable Method for Enhancing the Germination of Jerusalem Artichoke // *Waste and Biomass Valorization*. 2023. V. 14. №. 5. P. 1497-1508.
- 17 Завалин А.А., Накаряков А.М. Эффективность применения биопрепаратов в посеве озимой пшеницы на светлосерой лесной почве // *Земледелие*. 2021. №. 1. С. 27-30.
- 18 Djamit-Tchatchou A.T., Harrison G.A., Harper C.P., Wang R. et al. Dual role of auxin in regulating plant defense and bacterial virulence gene expression during *Pseudomonas syringae* PtoDC3000 pathogenesis // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2020. V. 33. №. 8. P. 1059-1071.
- 19 Uzma M., Iqbal A., Hasnain S. Drought tolerance induction and growth promotion by indole acetic acid producing *Pseudomonas aeruginosa* in *Vigna radiata* // *PloS one*. 2022. V. 17. №. 2. P. e0262932. doi: 10.1371/journal.pone.0262932
- 20 Zhang B.X., Li P.S., Wang Y.Y., Wang J.J. et al. Characterization and synthesis of indole-3-acetic acid in plant growth promoting *Enterobacter* sp // *RSC advances*. 2021. V. 11. №. 50. P. 31601-31607. doi: 10.1039/D1RA05659J

## References

- 1 Batabyal B. Plant Growth Promoting Fungi: Mechanisms and Applications for Crop Productivity. International Journal of Pharmacy & Life Sciences. 2021. vol. 12. no. 1.
- 2 Duca D.R., Glick B.R. Indole-3-acetic acid biosynthesis and its regulation in plant-associated bacteria. Applied microbiology and biotechnology. 2020. vol. 104. pp. 8607-8619.
- 3 Kocira S., Hara P., Szparaga A., Czerwińska E. et al. Evaluation of the Effectiveness of the Use of Biopreparations as Seed Dressings. Agriculture. 2020. vol. 10. no. 4. pp. 90.
- 4 Kumar A., Singh S., Gaurav A.K., Srivastava S. et al. Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. Frontiers in Microbiology. 2020. vol. 11. pp. 1216. doi: 10.3389/fmicb.2020.01216
- 5 Li M., Wang J., Yao T., Wang Z. et al. Isolation and characterization of cold-adapted PGPB and their effect on plant growth promotion. Journal of Microbiology and Biotechnology. 2021. vol. 31. no. 9. pp. 1218. doi: 10.4014/jmb.2105.05012
- 6 McClerklin S.A., Lee S.G., Harper C.P., Nwumeh R. et al. Indole-3-acetaldehyde dehydrogenase-dependent auxin synthesis contributes to virulence of *Pseudomonas syringae* strain DC3000. PLoS pathogens. 2018. vol. 14. no. 1. pp. e1006811.
- 7 Olanrewaju O.S., Glick B.R., Babalola O.O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2017. vol. 33. pp. 1-16.
- 8 Oliveira J.T.C., Pereira A., Souza A.J., Silva G.T. et al. Plant growth-promoting mechanisms and genetic diversity of bacteria strains isolated from *Brachiaria humidicola* and *Brachiaria decumbens*. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 2021. vol. 93.
- 9 Patten C.L., Glick B.R. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. Applied and environmental microbiology. 2002. vol. 68. no. 8. pp. 3795-3801. doi: 10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002
- 10 Rao R.P., Hunter A., Kashpur O., Normanly J. Aberrant synthesis of indole-3-acetic acid in *Saccharomyces cerevisiae* triggers morphogenic transition, a virulence trait of pathogenic fungi. Genetics. 2010. vol. 185. no. 1. pp. 211-220. doi: 10.1534/genetics.109.112854
- 11 Streletskii R.A., Kachalkin A.V., Glushakova A.M., Demin V.V. et al. Quantitative determination of indole-3-acetic acid in yeasts using high performance liquid chromatography—tandem mass spectrometry. Microbiology. 2016. vol. 85. pp. 727-736.
- 12 Tepper E.3., Shilnikova V.K., Pereverzeva G.I. Workshop on microbiology: textbook for universities. M., Bustard, 2004. (in Russian).
- 13 Ajijah N., Fiodor A., Pandey A.K., Rana A. et al. Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) with biofilm-forming ability: A multifaceted agent for sustainable agriculture. Diversity. 2023. vol. 15. no. 1. pp. 112.
- 14 Wang C., Lin Y., Huang J., Song H. et al. *Pseudomonas aeruginosa* targeting cascade photodynamic nanoassemblies for efficient antibacterial and anti-inflammatory therapy. Nano Today. 2023. vol. 51. pp. 101892. doi: 10.1016/j.nantod.2023.101892
- 15 Rabert G.A., Dhivya A., Navaneetha P., Mathivanan S. et al. A study on the impact of Plant Growth Promoting Fungus (PGPF) and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers for *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. Innovations in Agriculture. 2023. vol. 4. pp. 1-1.
- 16 Onrit N., Boonlue S., Mongkolthanaruk W., Jogloy S. et al. Alternative Nitrogen Source for Producing Crude Extracted IAA and Suitable Method for Enhancing the Germination of Jerusalem Artichoke. Waste and Biomass Valorization. 2023. vol. 14. no. 5. pp. 1497-1508.
- 17 Zavalin A.A., Nakaryakov A.M. Efficiency of using biological products in sowing winter wheat on light gray forest soil. Agriculture. 2021. no. 1. pp. 27-30. (in Russian).
- 18 Djami-Tchatchou A.T., Harrison G.A., Harper C.P., Wang R. et al. Dual role of auxin in regulating plant defense and bacterial virulence gene expression during *Pseudomonas syringae* PtoDC3000 pathogenesis. Molecular Plant-Microbe Interactions. 2020. vol. 33. no. 8. pp. 1059-1071.
- 19 Uzma M., Iqbal A., Hasnain S. Drought tolerance induction and growth promotion by indole acetic acid producing *Pseudomonas aeruginosa* in *Vigna radiata*. PloS one. 2022. vol. 17. no. 2. pp. e0262932. doi: 10.1371/journal.pone.0262932
- 20 Zhang B.X., Li P.S., Wang Y.Y., Wang J.J. et al. Characterization and synthesis of indole-3-acetic acid in plant growth promoting *Enterobacter* sp. RSC advances. 2021. vol. 11. no. 50. pp. 31601-31607. doi: 10.1039/D1RA05659J

## Сведения об авторах

**Александр С. Пронин** аспирант, кафедра общей биологии и экологии, МГУ им Н.П. Огарева, ул. Большевикская 33, Саранск, 43005, proninbio@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5196-9418>

**Татьяна С. Колмыкова** к.с.н, директор, МОУ Лицей 31, ул. Металлургов 2, Саранск, 430034, tskolmykova@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0581-8288>

**Александр С. Лукаткин** д.б.н., профессор, кафедра общей биологии и экологии, МГУ им Н.П. Огарева, ул. Большевикская 33, Саранск, 43005, alexlykatkin@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8174-5367>

## Information about authors

**Alexander S. Pronin** graduate student, general biology and ecology department, Moscow State University named after N.P. Ogareva, st. Bolshhevistskaya 33, Saransk, 43005, proninbio@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5196-9418>

**Tatiana S. Kolmykova** Cand. Sci. (Soc.), director, Municipal educational institution Lyceum 31, st. Metallurgov 2, Saransk, 430034, tskolmykova@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0581-8288>

**Alexander S. Lukatkin** Dr. Sci. (Biol.), professor, general biology and ecology department, Moscow State University named after N.P. Ogareva, st. Bolshhevistskaya 33, Saransk, 43005, alexlykatkin@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8174-5367>

## 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 11/10/2023	После редакции 01/11/2023	Принята в печать 22/11/2023
Received 11/10/2023	Accepted in revised 01/11/2023	Accepted 22/11/2023

## Разработка и получение ДНК-иммуногена на основе генов SARS-CoV-2

Анастасия А. Рябченкова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:riabchenkova@service-gene.ru">riabchenkova@service-gene.ru</a>	 0000-0002-9973-0753
Елизавета Р. Чирак	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chirak.elizaveta@service-gene.ru">chirak.elizaveta@service-gene.ru</a>	 0000-0002-1610-8935
Евгений Л. Чирак	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chirak.evgenii@service-gene.ru">chirak.evgenii@service-gene.ru</a>	 0000-0001-9167-5000
Николай Н. Колмаков	<sup>2</sup>	<a href="mailto:kolmakov@service-gene.ru">kolmakov@service-gene.ru</a>	 0000-0002-4672-6208
Владимир В. Копать	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kopat@service-gene.ru">kopat@service-gene.ru</a>	 0000-0002-6573-6743
Илья В. Духовлинов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:atg@service-gene.ru">atg@service-gene.ru</a>	 0000-0002-5268-9802







1 ООО «АТГ Сервис Ген», пр-кт Малый В.О., д.57, г. Санкт-Петербург, 199178, Россия

2 Институт экспериментальной медицины, г. Санкт-Петербург, 197376, Россия

**Аннотация.** В связи с развитием пандемии и необходимостью массовой вакцинации разработка вакцин нового поколения против коронавирусной инфекции COVID-19 является важнейшей задачей медицины и биотехнологии. Ввиду распространенности COVID-19, все еще актуально создание безопасной и протективной вакцины, особенно стимулирующей Т-клеточный иммунный ответ. В работе представлены разработка и получение ДНК-иммуногена на основе плазмидной ДНК, кодирующей гибридный белок, содержащий иммуногенные фрагменты структурных белков  $\beta$ -коронавируса SARS-CoV-2. В результате методами генной инженерии была создана векторная конструкция на основе плазмидной ДНК, кодирующей гибридный белок, содержащий наиболее иммуногенные участки структурных белков М, S, N, Е  $\beta$ -коронавируса SARS-CoV-2, для транзientной экспрессии в клетках млекопитающих; методом электропорации был создан штамм *E.coli* – продуцент ДНК-иммуногена; разработан метод очистки рекомбинантной плазмидной ДНК на основе последовательного постадийного процесса: данная методика позволила получить 100 мг ДНК-иммуногена pCMV-3Tag-3a-CVVV3 в растворе с концентрацией 1 мг/мл (100 мл), соответствующих установленным в Государственной Фармакопее РФ (ОФС.1.7.1.0013.18 ДНК-вакцины) параметрам качества – полученный результат стабильно воспроизводится в лабораторных условиях; были отработаны методики контроля качества плазмидной ДНК и проверена экспрессия гибридного белка методом Вестерн-блоттинга. Было показано, что антиген CVVV3 специфически связывается с иммуноглобулинами IgG из кроличьих сывороток после иммунизации ДНК-иммуногеном pCMV-3Tag-3a-CVVV3. Доля суперспирализованной плазмидной ДНК в образце ДНК-иммуногена pCMV-3Tag-3a-CVVV3 составила 85,64%, содержание эндотоксинов – менее 25 ЕЭ/мг; концентрация остаточных белков штамма-продуцента в растворе 1 мг/мл ДНК-иммуногена pCMV-3Tag-3a-CVVV3 составила менее 100нг на 1 мл (мг суммарной рекомбинантной ДНК).

**Ключевые слова:** SARS-CoV 2, ДНК-иммуноген, гибридный белок, экспрессия.

## Development and production of DNA-immunogen based on SARS-CoV-2 genes

Anastasia A. Riabchenkova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:riabchenkova@service-gene.ru">riabchenkova@service-gene.ru</a>	 0000-0002-9973-0753
Elizaveta R. Chirak	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chirak.elizaveta@service-gene.ru">chirak.elizaveta@service-gene.ru</a>	 0000-0002-1610-8935
Evgenii L. Chirak	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chirak.evgenii@service-gene.ru">chirak.evgenii@service-gene.ru</a>	 0000-0001-9167-5000
Nikolai N. Kolmakov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:kolmakov@service-gene.ru">kolmakov@service-gene.ru</a>	 0000-0002-4672-6208
Vladimir V. Kopat	<sup>1</sup>	<a href="mailto:kopat@service-gene.ru">kopat@service-gene.ru</a>	 0000-0002-6573-6743
Ilya V. Dukhovlinov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:atg@service-gene.ru">atg@service-gene.ru</a>	 0000-0002-5268-9802

1 ATG Service Gene LLC, Maly V.O. Ave., 57, St. Petersburg, 199178, Russia

2 Institute of Experimental Medicine, St. Petersburg, 197376, Russia

**Abstract.** Due to the development of the pandemic and the need for mass vaccination, the development of next-generation vaccines against COVID 19 coronavirus infection is a major challenge for medicine and biotechnology. Due to the prevalence of COVID 19, it is still urgent to develop a safe and protective vaccine, especially one that stimulates T-cell immune response. This work presents the design and production of a DNA immunogen based on plasmid DNA encoding a hybrid protein containing immunogenic fragments of structural proteins of SARS-CoV 2  $\beta$ -coronavirus. As a result, a vector construct based on plasmid DNA encoding a hybrid protein containing the most immunogenic parts of structural proteins M, S, N, E of SARS-CoV 2  $\beta$ -coronavirus was created by genetic engineering methods for transient expression in mammalian cells; a strain of *E. coli*, a producer of DNA-coronavirus  $\beta$ -coronavirus, was created by electroporation. coli, a DNA-immunogen producer; a method of purification of recombinant plasmid DNA was developed on the basis of a sequential step-by-step process: this method allowed to obtain 100 mg of DNA-immunogen pCMV 3Tag 3a-CVVV3 in a solution with a concentration of 1 mg/mL (100 ml), which corresponds to the concentration established in the State Pharmacopoeia of the Russian Federation (OFS.1.7.1.0013.0013.1). .7.1.0013.18 DNA-vaccines) quality parameters - the obtained result is stably reproduced in laboratory conditions; methods of plasmid DNA quality control were worked out and expression of hybrid protein was tested by Western blotting. The CVVV3 antigen was shown to bind specifically to IgG immunoglobulins from rabbit sera after immunization with pCMV 3Tag 3a-CVVV3 DNA-immunogen. The proportion of superhelicalized plasmid DNA in the sample of DNA-immunogen pCMV 3Tag 3a-CVVV3 was 85.64 %, the content of endotoxins was less than 25 U/mg; the concentration of residual proteins of the strain-producer in a solution of 1 mg/ml of DNA-immunogen pCMV 3Tag 3a-CVVV3 was less than 100ng per 1 ml (mg of total recombinant DNA).

**Keywords:** SARS-CoV 2, DNA-immunogen, hybrid protein, expression.

### Для цитирования

Рябченкова А.А., Чирак Е.Р., Чирак Е.Л., Колмаков Н.Н., Копать В.В., Духовлинов И.В. Разработка и получение ДНК-иммуногена на основе генов SARS-CoV-2 // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 96–101. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-96-101

### For citation

Riabchenkova A.A., Chirak E.R., Chirak E.L., Kolmakov N.N., Kopat V.V., Dukhovlinov I.V. Development and production of DNA-immunogen based on SARS-CoV-2 genes. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 96–101. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-96-101

## Введение

Возбудителем COVID-19 является бета-коронавирус SARS-CoV-2, распознанный в качестве патогена посредством секвенирования метагеномной РНК и выделения вируса из образцов жидкости бронхоальвеолярного лаважа пациентов с тяжелой пневмонией [10].

За последний год был достигнут огромный прогресс в создании эффективных вакцин против SARS-CoV-2. Согласно предварительному проекту ВОЗ по вакцинам, в настоящее время 172 вакцины-кандидата находятся в стадии доклинической разработки, 63 – в стадии клинической разработки, 6 из которых основаны на технологии плазмидной ДНК [1]. Эти вакцины могут легко производиться бактериями в больших количествах, их производство достаточно просто масштабируется и менее затратно по сравнению с иными вариантами вакцин [4].

На данный момент высказываются опасения по поводу безопасности и эффективности вакцин, разрабатываемых на основе различных технологических платформ. Важно, чтобы на введение вакцины не возникло аутоиммунной перекрестной реактивности за счет присутствия в активных агентах вакцины участков, гомологичных участкам генома человека [8]. Кроме того, предпочтительнее использование вакцин, которые также действенны против мутировавших штаммов нового коронавируса.

Разработанные на данный момент вакцины недостаточно эффективны от мутирующих штаммов, поскольку содержат в себе в том числе неконсервативные последовательности S белка [7]. Поэтому актуальна разработка ДНК-иммуногена, безопасного и активного против мутирующих штаммов SARS-CoV-2.

**Цель работы** – разработка и получение ДНК-иммуногена на основе плазмидной ДНК, кодирующей иммуногенные фрагменты структурных белков нового β-коронавируса SARS-CoV-2, вызывающего коронавирусную инфекцию 2019 (COVID-19).

## Материалы и методы

Полноразмерная последовательность генома базового дикого типа SARS-CoV-2 была получена с сайта NCBI (NC\_045512.2). Наиболее иммуногенные (клеточный иммунный ответ) фрагменты структурных белков М, S, N, Е SARS-CoV-2 выбрали с помощью программы “CD4 T cell immunogenicity prediction” [2]. Участки белков, содержащие наибольшее количество иммуногенных фрагментов, объединили с помощью полиглициновых линкеров. Выравнили полученную последовательность с помощью BLAST против белков человека, чтобы убедиться в отсутствии сходства. Для экспрессии в эукариотических клетках к гибридной

последовательности также добавили транспортный сигнал белка ИГФ человека, последовательность Козака и старт-кодон.

Синтез гибридной последовательности с последующей вставкой в экспрессионный вектор pCMV-3Tag-3a был произведен на коммерческой основе в компании GenScript (США). Полученную плазмиду pCMV-3Tag-3a-CVVV3 нарабатывали в клетках *E. coli DH5*. Подлинность плазмиды подтверждали методом ПЦР, рестрикцией по сайтам клонирования BamHI и XhoI и секвенированием по Сэнгеру.

Выделение плазмидной ДНК из биомассы *E. coli* осуществляли методом щелочного лизиса. Осадок ДНК растворяли в воде и обрабатывали РНКазой А. Для последующей хроматографической очистки использовали последовательно анионообменную, гидрофобную и вновь анионообменную хроматографию.

Определение доли содержания суперспирализованных топоизомеров плазмидной ДНК производили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в градиенте натрия хлорида (Gen-Pak FAX, NP, АХС 4,6·100 мм 2,5 мкм, (Waters, США)). Отсутствие РНК проверяли по отсутствию диффузной полосы в области 200–500 пар нуклеотидов в 1% агарозном геле. Определение содержания бактериальных эндотоксинов проводили с помощью ЛАЛ-теста (Pyrotell) согласно рекомендациям производителя. Определение содержания остаточных белков осуществляли методом твердофазного ИФА с помощью набора Cygnus *E. coli* Host Cell Proteins (Cygnus, № F410, США) согласно инструкции к набору.

Суммарные кроличьи антитела из сывороток крови получали двукратной иммунизацией с интервалом в 2 недели 6 самок кроликов породы Советская Шиншилла внутримышечно (в бедро) 2 мл следующей смеси: плазмидная ДНК – 0,2 мг/мл, полиэтиленмин – 1,2 мг/мл, Sabowax – 2%, глюкоза – 10%, бензиловый спирт – 0,3%. Выделение и очистку антител проводили высаждением насыщенным раствором сульфата аммония.

Наличие специфических антител к гибричному белку CVVV3 определяли с помощью Вестерн-блоттинга с использованием белка CVVV3 в качестве антигена (был наработан в культуре эукариотических клеток HEK293) и антител, выделенных из сыворотки кроликов. Использовали поликлональные антитела Goat Anti-Rabbit IgG conjugate (HRP) (EMD Millipore Corp, USA), специфичные к линейным участкам белковой молекулы. Образовавшиеся в месте локализации исследуемого белка иммунные комплексы проявлялись с помощью тетраметилбензидина (ТМБ). Как отрицательный контроль была использована сыворотка кроликов до иммунизации.

## Результаты

Созданная конструкция (рисунок 1), представляет собой ДНК-иммуноген, кодирующий гибридный белок, состоящий из фрагментов основных белков М, S, N и Е коронавируса SARS-CoV-2. Химерный белок, экспрессирующийся в клетках млекопитающих, содержит 424 аминокислоты, имеет прогнозируемую массу 46,5 кДа и pI 9,61, является стабильным и его период полураспада у млекопитающих составляет около 100 часов [3].

В результате лизиса и хроматографической очистки из 1 кг биомассы получили 100 мг ДНК-иммуногена pCMV-3Tag-3a-CVVV3 в растворе с концентрацией 1 мг/мл.

Полученный образец проанализировали согласно ряду критериев, указанных в Государственной Фармакопее РФ (ОФС.1.7.1.0013.18

ДНК-вакцины). Время выхода суперспирализованной изоформы плазмидной ДНК составило 6,26 минут, площадь пика 85,64% (рисунок 2).

Концентрация эндотоксинов в растворе 1 мг/мл составила менее 25,0 ЕЭ на 1 мл, концентрация остаточных белков штамма-продуцента составила менее 100нг на 1 мл. Таким образом, по перечисленным критериям наш ДНК-иммуноген по перечисленным параметрам качества соответствует ГФ РФ.

Из кроличьих сывороток было получено 30 мл суммарных иммуноглобулинов с концентрацией 10 мкг/мл. Антиген CVVV3, наработанный в линии эукариотических клеток HEK293, специфически связывается с иммуноглобулинами IgG из кроличьих сывороток после иммунизации ДНК-иммуногеном pCMV-3Tag-3A-CVVV3 (рисунок 3).

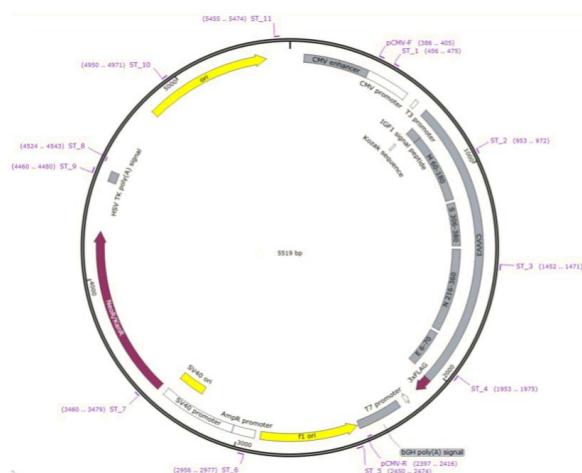


Рисунок 1. Структура плазмиды pCMV-3Tag-3a-CVVV3 с праймерами, необходимыми для секвенирования вектора вместе со вставкой

Figure 1. Structure of plasmid pCMV 3Tag 3a-CVVV3 with primers required for sequencing the vector together with the insert

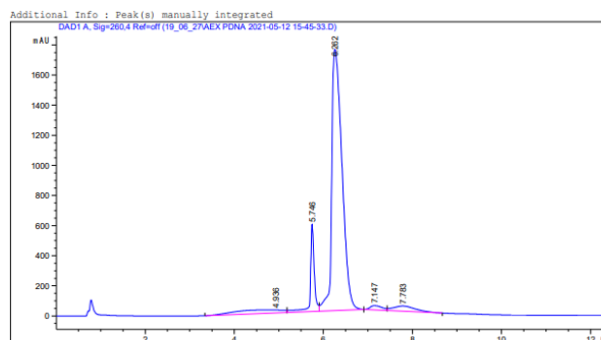


Рисунок 2. Анализ образца pCMV-3Tag-3A-CVVV3 с помощью ВЭЖХ. Суперспирализованная изоформа – пик на 6,26 мин

Figure 2. Analysis of the pCMV 3Tag 3A-CVVV3 sample by HPLC. Superspiralized isoform - peak at 6.26 min

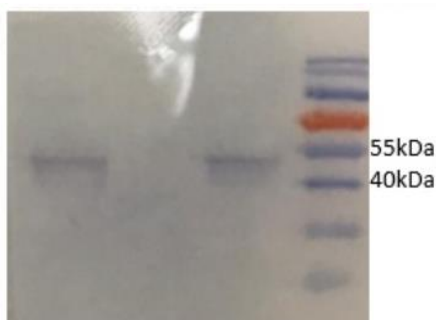


Рисунок 3. Проверка экспрессии гибридного белка методом Вестерн-блоттинга. Образец рекомбинантного белка CVVV3, наработанный в культуре клеток HEK293, нанесен в двух нагрузках. Source: Составлено авторами

Figure 3. Verification of hybrid protein expression by Western blotting. A sample of recombinant CVVV3 protein produced in HEK293 cell culture was plated in two loads. Source: Compiled by the authors

## Обсуждение

В ходе работы был разработан и очищен ДНК-иммуноген для транзientной экспрессии в клетках млекопитающих, содержащий иммуногенные участки структурных белков М, S, N, Е  $\beta$ -коронавируса SARS-CoV-2.

Также была подтверждена экспрессия закодированного в нём рекомбинантного белка CVVV3 в клетках млекопитающих. Метод Вестерн-блоттинга позволил оценить формирование гуморального иммунного ответа на антиген CVVV3 и предварительно оценить его использование для разработки метода, аналогичного иммунофлуоресцентному анализу [4].

Кролики были двукратно иммунизированы pCMV-3Tag-3a-CVVV3 с адъювантным комплексом ПЭИ-Sabowax, поскольку существуют

трудности в достижении достаточной иммуногенности ДНК-вакцин [5]. Также возможен вариант интраназальной иммунизации с добавлением адьюванта.

Разработанная технология получения ДНК-иммуногена приводит к выходу 0,1 мг/г, выходы зависят большей частью от процесса ферментации и производственных мощностей [9]. Для наработки большего количества ДНК-иммуногена процесс ферментации будет усовершенствован.

Разработана схожая ДНК-вакцина ZyCoV-D, кодирующая фрагменты S-белка SARS-CoV-2. Кандидатная ДНК-вакцина индуцирует в том числе нейтрализующие антитела и обеспечивает ответ Th-1, о чем свидетельствуют повышенные уровни IFN- $\gamma$  (Momin, 2021). Дизайн нашего ДНК-иммуногена позволяет прогнозировать схожие данные исследований иммуногенности и безопасности.

## Заключение

Разработана плазида pCMV-3Tag-3a-CVVV3, кодирующая гибридный белок, содержащий иммуногенные участки структурных белков M, S, N, E  $\beta$ -коронавируса SARS-CoV-2, для транзиторной экспрессии в клетках млекопитающих. Данный ДНК-иммуноген рассматривается как перспективная кандидатная вакцина против SARS-CoV-2. Методом Вестерн-блоттинга подтверждена экспрессия гибридного белка CVVV3 в клетках млекопитающих. Усиление иммуногенных свойств ДНК-иммуногена pCMV-3Tag-3a-CVVV3 возможно изменением способа введения на интраназальный или внутрикожный. Созданный ДНК-иммуноген отвечает критериям кандидатной вакцины против COVID-19 нового поколения и в дальнейшей работе будет изучена иммуногенность и протективность.





## Литература

- 1 Dey A. Immunogenic potential of DNA vaccine candidate, ZyCoV-D against SARS-CoV-2 in animal models // Vaccine. 2021. V. 39. № 30. P. 4108–4116.
- 2 Dhandha S.K. Prediction of HLA CD4 immunogenicity in human populations // Front. Immunol. 2018. V. 9. P. 1369.
- 3 Пат. № 2747762, RU, A61K 39/215, A61P 31/14, C12Q 1/6806, C07K 16/10, C12N 15/50. Вакцина для профилактики или лечения коронавирусной инфекции на основе генетической конструкции / Духовлинов И.В., Федорова Е.А., Колмаков Н.Н., Чирак Е.Л., Алексеев А.В. № 2020112937; Заявл. 05.04.2020; Оpubл. 13.05.2021, Бюл. № 14.
- 4 He Q. Development of a Western Blot Assay for Detection of Antibodies against Coronavirus Causing Severe Acute Respiratory Syndrome // Clin. Diagn. Lab. Immunol. 2004. V. 11. № 2. P. 417–422.
- 5 Lee J. Engineering DNA vaccines against infectious diseases // Acta Biomater. 2018. V. 80. P. 31–47.
- 6 Momin T. Safety and Immunogenicity of a DNA SARS-CoV-2 vaccine (ZyCoV-D): Results of an open-label, non-randomized phase I part of phase I/II clinical study by intradermal route in healthy subjects in India // EclinicalMedicine. 2021. V. 38.
- 7 Rodrigues João P.G.L.M. Insights on cross-species transmission of SARS-CoV-2 from structural modeling // PLoS Comput Biol. 2020. V. 16. № 12.
- 8 Vojdania A., Kharrazianb D. Potential antigenic cross-reactivity between SARS-CoV-2 and human tissue with a possible link to an increase in autoimmune diseases // Clinical Immunology. 2020. V. 217. P. 1–2.
- 9 Williams J.A. Generic plasmid DNA production platform incorporating low metabolic burden seed-stock and fed-batch fermentation processes // Biotechnol Bioeng. 2010. V. 103. № 6. P. 1129–1143.
- 10 Zhao J. Antibody responses to SARS-CoV-2 in patients of novel Antibody responses to SARS-CoV-2 in patients of novel coronavirus disease 2019 // Clin. Infect. Dis. 2020. V. 71. № 16. P. 2027–2034.
- 11 Чашин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., Одланд Ю.О. и др. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3–12.
- 12 Контарович А.Э., Коржубаев А.Г., Эдер Л.В. Прогноз глобального энергообеспечения: методология, количественные оценки, практические выводы // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 5. С. 18–27.
- 13 Раскина Т.А., Пирогова О.А., Зобнина О.В., Пинтова, Г.А. Показатели системы остеокластогенеза у мужчин с различными клиническими вариантами анкилозирующего спондилита // Современная ревматология. 2015. Т. 9. № 2. С. 23–27. doi: 10.14412/1996-7012-2015-2-23-27
- 14 Новиков А.А., Смоленский А.В., Михайлова А.В. Подходы к оценке показателей вариабельности сердечного ритма (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2023. Т. 17. № 3. С. 85–94.
- 15 Абдурахманов Г.М., Лопатин И.К., Исмаилов Ш.И. Основы зоологии и зоогеографии. Москва: Академия, 2001.
- 16 Кондратьев В.Б. Глобальная фармацевтическая промышленность // Отрасли и сектора глобальной экономики: особенности и тенденции развития. 2015. С. 226–249. URL: [http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja\\_farmaceuticheskaja\\_promyshlennost\\_2011-07-18.html](http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmaceuticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.html)
- 17 ГОСТ 8.586.5-2005. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. М.: Стандартинформ, 2007.
- 18 Ura T., Yamashita A., Mizuki N., Okuda K. et al. New vaccine production platforms used in developing SARS-CoV-2 vaccine candidates // Vaccine. 2021. V. 39. № 2. P. 197–201.
- 19 Chavda V.P., Pandya R., Apostolopoulos V. DNA vaccines for SARS-CoV-2: toward third-generation vaccination era // Expert Review of Vaccines. 2021. V. 20. № 12. P. 1549–1560.
- 20 Borgoyakova M.B., Karpenko L.I., Rudometov A.P., Shanshin D.V. et al. Immunogenic properties of the DNA construct encoding the receptor-binding domain of the SARS-CoV-2 spike protein // Molecular Biology. 2021. V. 55. P. 889–898.

## References

- 1 Dey A. Immunogenic potential of DNA vaccine candidate, ZyCoV-D against SARS-CoV 2 in animal models. *Vaccine*. 2021. vol. 39. no. 30. pp. 4108–4116.
- 2 Dhanda S.K. Prediction of HLA CD4 immunogenicity in human populations. *Front. Immunol.* 2018. vol. 9. pp. 1369.
- 3 Dukhovlinov I.V., Fedorova E.A., Kolmakov N.N., Chirak E.L., Alekseev A.V. Vaccine for the prevention or treatment of coronavirus infection based on a genetic design. Patent RF, no. 2747762, 2021.
- 4 He Q. Development of a Western Blot Assay for Detection of Antibodies against Coronavirus Causing Severe Acute Respiratory Syndrome. *Clin. Diagn. Lab. Immunol.* 2004. vol. 11. no. 2. pp. 417–422.
- 5 Lee J. Engineering DNA vaccines against infectious diseases. *Acta Biomater.* 2018. vol. 80. pp. 31–47.
- 6 Momin T. Safety and Immunogenicity of a DNA SARS-CoV 2 vaccine (ZyCoV-D): Results of an open-label, non-randomized phase I part of phase I/II clinical study by intradermal route in healthy subjects in India. *EClinicalMedicine*. 2021. vol. 38.
- 7 Rodrigues João P.G.L.M. Insights on cross-species transmission of SARS-CoV 2 from structural modeling. *PLoS Comput Biol.* 2020. vol. 16. no. 12.
- 8 Vojdania A., Kharrazianb D. Potential antigenic cross-reactivity between SARS-CoV 2 and human tissue with a possible link to an increase in autoimmune diseases. *Clinical Immunology*. 2020. vol. 217. pp. 1–2.
- 9 Williams J.A. Generic plasmid DNA production platform incorporating low metabolic burden seed-stock and fed-batch fermentation processes. *Biotechnol Bioeng.* 2010. vol. 103. no. 6. pp. 1129–1143.
- 10 Zhao J. Antibody responses to SARS-CoV 2 in patients of novel Antibody responses to SARS-CoV 2 in patients of novel coronavirus disease 2019. *Clin. Infect. Dis.* 2020. vol. 71. no. 16. pp. 2027–2034.
- 11 Chashchin V.P., Gudkov A.B., Popova O.N., Odland Yu.O. et al. Characteristics of the main risk factors for health problems among the population living in areas of active environmental management in the Arctic. *Human Ecology*. 2014. no. 1. pp. 3-12. (in Russian).
- 12 Kontorovich A.E., Korzhubaev A.G., Eder L.V. Forecast of global energy supply: methodology, quantitative estimates, practical conclusions. *Mineral Resources of Russia. Economics and Management*. 2006. no. 5. pp. 18-27. (in Russian).
- 13 Raskina T.A., Pirogova O.A., Zobnina O.V., Pintova, G.A. Indicators of the osteoclastogenesis system in men with various clinical variants of ankylosing spondylitis. *Modern rheumatology*. 2015. vol. 9. no. 2. pp. 23-27. doi: 10.14412/1996-7012-2015-2-23-27 (in Russian).
- 14 Novikov A.A., Smolensky A.V., Mikhailova A.V. Approaches to assessing heart rate variability indicators (literature review). *Bulletin of new medical technologies. Electronic edition*. 2023. vol. 17. no. 3. pp. 85-94. (in Russian).
- 15 Abdurakhmanov G.M., Lopatin I.K., Ismailov Sh.I. *Fundamentals of zoology and zoogeography*. Moscow, Academy, 2001. (in Russian).
- 16 Kondratyev V.B. Global pharmaceutical industry. Industries and sectors of the global economy: features and development trends. 2015. pp. 226-249. Available at: [http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja\\_farmaceuticheskaja\\_promyshlennost\\_2011-07-18.html](http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmaceuticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.html) (in Russian).
- 17 GOST 8.586.5-2005. State system for ensuring the uniformity of measurements. Measurement of flow and quantity of liquids and gases using standard restriction devices. Moscow, Standartinform, 2007. (in Russian).
- 18 Ura T., Yamashita A., Mizuki N., Okuda K. et al. New vaccine production platforms used in developing SARS-CoV-2 vaccine candidates. *Vaccine*. 2021. vol. 39. no. 2. pp. 197-201.
- 19 Chavda V.P., Pandya R., Apostolopoulos V. DNA vaccines for SARS-CoV-2: toward third-generation vaccination era. *Expert Review of Vaccines*. 2021. vol. 20. no. 12. pp. 1549-1560.
- 20 Borgoyakova M.B., Karpenko L.I., Rudometov A.P., Shanshin D.V. et al. Immunogenic properties of the DNA construct encoding the receptor-binding domain of the SARS-CoV-2 spike protein. *Molecular Biology*. 2021. vol. 55. pp. 889-898.


## Сведения об авторах

**Анастасия А. Рябченкова** научный сотрудник, ООО «АТГ Сервис Ген», 199178, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Васильевский, пр-кт Малый В.О., д.57, [riabchenkova@service-gene.ru](mailto:riabchenkova@service-gene.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-9973-0753>  
**Елизавета Р. Чирак** научный сотрудник, ООО «АТГ Сервис Ген», 199178, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Васильевский, пр-кт Малый В.О., д.57, Россия, [chirak.elizaveta@service-gene.ru](mailto:chirak.elizaveta@service-gene.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-1610-8935>  
**Евгений Л. Чирак** научный сотрудник, ООО «АТГ Сервис Ген», 199178, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Васильевский, пр-кт Малый В.О., д.57, Россия, [chirak.evgenii@service-gene.ru](mailto:chirak.evgenii@service-gene.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0001-9167-5000>  
**Николай Н. Колмаков** к.б.н., Институт экспериментальной медицины, 197376, Санкт-Петербург, Россия, [kolmakov@service-gene.ru](mailto:kolmakov@service-gene.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-4672-6208>


## Information about authors

**Anastasia A. Riabchenkova** research scientist, LLC ATG Service Gene, 199034, Saint-Petersburg, int. ter. municipal district Vasilyevsky, pr-kt Maly V.O., 57, Russia, [riabchenkova@service-gene.ru](mailto:riabchenkova@service-gene.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-9973-0753>  
**Elizaveta R. Chirak** research scientist, LLC ATG Service Gene, 199034, Saint-Petersburg, municipal district Vasilyevsky, pr-kt Maly V.O., 57, Russia, [chirak.elizaveta@service-gene.ru](mailto:chirak.elizaveta@service-gene.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-1610-8935>  
**Evgenii L. Chirak** research scientist, Limited Liability Company 'ATG Service Gene', 199034, Saint-Petersburg, municipal district Vasilyevsky, pr-kt Maly V.O., 57, Russia, [chirak.evgenii@service-gene.ru](mailto:chirak.evgenii@service-gene.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0001-9167-5000>  
**Nikolai N. Kolmakov** Cand. Sci. (Biol.), Institution Institute of experimental medicine, 197376, St. Petersburg, Russia, [kolmakov@service-gene.ru](mailto:kolmakov@service-gene.ru)  
 <https://orcid.org/0000-0002-4672-6208>

**Владимир В. Копать** директор по развитию, ООО «АТГ Сервис Ген», 199178, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Васильевский, пр-кт Малый В.О., д.57, Россия, kopat@service-gene.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6573-6743>

**Илья В. Духовлинов** к.б.н., директор по науке, ООО «АТГ Сервис Ген», 199178, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Васильевский, пр-кт Малый В.О., д.57, Россия, atg@service-gene.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5268-9802>

#### Вклад авторов

**Анастасия А. Рябченкова** проведение исследования, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы

**Елизавета Р. Чирак** участие в научном дизайне, написание текста, анализ и интерпретация полученных данных

**Евгений Л. Чирак** проведение исследования, сбор и обработка данных

**Николай Н. Колмаков** участие в научном дизайне

**Владимир В. Копать** концепция и дизайн исследования

**Илья В. Духовлинов** концепция и дизайн исследования


#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Vladimir V. Kopat** development director, Limited Liability Company 'ATG Service Gene', 199034, Saint-Petersburg, municipal district Vasilyevsky, pr-kt Maly V.O., 57, Russia, kopat@service-gene.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6573-6743>

**Ilya V. Dukhovlinov** Cand. Sci. (Biol.), director of research, Limited Liability Company 'ATG Service Gene', 199034, Saint-Petersburg, municipal district Vasilyevsky, pr-kt Maly V.O., 57, Russia, atg@service-gene.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5268-9802>

#### Contribution

**Anastasia A. Riabchenkova** conducting research, writing text, preparing, creating a published work

**Elizaveta R. Chirak** participation in scientific design, text writing, analysis and interpretation of data obtained

**Evgenii L. Chirak** conducting research, collecting and processing data

**Nikolai N. Kolmakov** participation in scientific design

**Vladimir V. Kopat** study concept and design






**Ilya V. Dukhovlinov** study concept and design

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 06/10/2023	После редакции 28/10/2023	Принята в печать 17/11/2023
Received 06/10/2023	Accepted in revised 28/10/2023	Accepted 17/11/2023

## Использование водорослей для создания фитосанитарных продуктов






Анна А. Дерканосова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:aa-derk@yandex.ru">aa-derk@yandex.ru</a>	 0000-0002-9726-9262
Алексей В. Дранников	<sup>1</sup>	<a href="mailto:drannikov@list.ru">drannikov@list.ru</a>	 0000-0002-3060-8688
Сильвестр Ншимиримана	<sup>1</sup>	<a href="mailto:sisinshimi@gmail.com">sisinshimi@gmail.com</a>	 0009-0002-1571-1203
Никита А. Хрячков	<sup>1</sup>	<a href="mailto:nikita15.08.023333@yandex.ru">nikita15.08.023333@yandex.ru</a>	
Лилия А. Хрячкова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:azucena14@yandex.ru">azucena14@yandex.ru</a>	 0000-0002-2979-142X
Галина Н. Егорова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:egorovahp@gmail.com">egorovahp@gmail.com</a>	 0000-0002-9907-9649

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

**Аннотация.** Микроводоросли и макроводоросли обладают полезными свойствами для питания, биоконтроля, иммунитета и здоровья и т.д., особенно в контексте интегрированной мультитрофической аквакультуры. Растет популярность проектов по улучшению биодоступности, усвояемости и предварительной обработки водорослей, а также направленные на контроль сельскохозяйственных культур с высоким содержанием белка (макро / микро). биоремедиации будет доступна для внесения в качестве удобрений в рамках подхода к рециркуляции минералов и азота, улучшенного за счет воздействия этих матриц на структурирование почвы и усвоение питательных веществ. Преимущество микроводорослей заключается в том, что они имеют довольно короткий цикл размножения (примерно половину дня), что позволяет эффективно производить биомассу в больших количествах. Микроводоросли имеют большое разнообразие оригинальных молекул в своих клетках. Эта биомасса богата липидами, белками, витаминами и антиоксидантами. Микроводоросли составляют основу концепции, они стали причиной одного из величайших климатических изменений в истории Земли. Их метаболизм, основанный на фотосинтезе, добавил огромное количество кислорода в «токсичную примитивную атмосферу Земли». Основные характеристики микроводорослей. Большинство микроводорослей называют фотоавтотрофными или автотрофными. Микроводоросли весьма разнообразны и уже проанализировано около 30 000 видов. Это число составляет менее 10 % от предполагаемого существующего общего количества. Наиболее распространенными классами с точки зрения относительной численности являются диатомовые водоросли (bacillariophyceae), зеленые водоросли (chlorophyceae), цианобактерии или сине-зеленые водоросли (cyanophyceae) и золотые водоросли (chrysophyceae). Большая часть исследований посвящена поиску лучших штаммов. Выбор вида микроводорослей в конечном итоге зависит от имеющихся организмов, способных синтезировать целевые продукты и достигать урожая, необходимых для удовлетворения экономических и технических ограничений. Поэтому при выборе необходимо учитывать преобладающие климатические условия, особенно средние и минимальные температуры и наличие необходимых питательных веществ. Использование водорослей для создания фитосанитарных продуктов перспективная и востребованная область исследований.

**Ключевые слова:** микроводоросли, макроводоросли, биодоступность, *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis*.

## The use of algae to create phytosanitary products

Anna A. Derkanosova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:aa-derk@yandex.ru">aa-derk@yandex.ru</a>	 0000-0002-9726-9262
Aleksej V. Drannikov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:drannikov@list.ru">drannikov@list.ru</a>	 0000-0002-3060-8688
Sil'vestr Nshimirimana	<sup>1</sup>	<a href="mailto:sisinshimi@gmail.com">sisinshimi@gmail.com</a>	 0009-0002-1571-1203
Nikita A. Hryachkov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:nikita15.08.023333@yandex.ru">nikita15.08.023333@yandex.ru</a>	
Liliya A. Hryachkova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:azucena14@yandex.ru">azucena14@yandex.ru</a>	 0000-0002-2979-142X
Galina N. Egorova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:egorovahp@gmail.com">egorovahp@gmail.com</a>	 0000-0002-9907-9649

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

**Abstract.** Microalgae and macroalgae have beneficial properties for nutrition, biocontrol, immunity and health, etc., especially in the context of integrated multitrophic aquaculture. Projects to improve the bioavailability, digestibility and pretreatment of algae, as well as those aimed at controlling crops with a high protein content (macro/micro), are growing in popularity. Bioremediation will be available for fertilization as part of a mineral and nitrogen recycling approach improved by the effects of these matrices on soil structuring and nutrient absorption. The advantage of microalgae is that they have a fairly short reproduction cycle (about half a day), which allows efficient production of biomass in large quantities. Microalgae have a wide variety of original molecules in their cells. This biomass is rich in lipids, proteins, vitamins and antioxidants. Microalgae form the basis of the concept, they have caused one of the greatest climatic changes in the history of the Earth. Their metabolism, based on photosynthesis, added huge amounts of oxygen to the "toxic primitive atmosphere of the Earth." The main characteristics of microalgae. Most microalgae are called photoautotrophic or autotrophic. Microalgae are very diverse and about 30,000 species have already been analyzed. This number is less than 10% of the estimated existing total. The most common classes in terms of relative abundance are diatoms (bacillariophyceae), green algae (chlorophyceae), cyanobacteria or blue-green algae (cyanophyceae) and golden algae (chrysophyceae). Most of the research is devoted to finding the best strains. The choice of microalgae species ultimately depends on the available organisms capable of synthesizing target products and achieving yields necessary to meet economic and technical constraints. Therefore, when choosing, it is necessary to take into account the prevailing climatic conditions, especially average and minimum temperatures and the availability of necessary nutrients. The use of algae to create phytosanitary products is a promising and in-demand area of research.

**Keywords:** microalgae, macroalgae, bioavailability, *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis*.

Для цитирования

Дерканосова А.А., Дранников А.В., Ншимиримана С., Хрячков Н.А., Хрячкова Л.А., Егорова Г.Н. Использование водорослей для создания фитосанитарных продуктов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 102–108. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-102-108

For citation

Derkanosova A.A., Drannikov A.V., Nshimirimana S., Hryachkov N.A., Hryachkova L.A., Egorova G.N. The use of algae to create phytosanitary products. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 102–108. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-102-108

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

## Введение

Микроводоросли и макроводоросли имеют ряд преимуществ – питание, биоконтроль, иммунитет и здоровье и т. д., особенно в контексте интегрированной мультитрофической аквакультуры. Сейчас повышен интерес фермеров к водорослям и открыть доступ к новому сырью для питания аквакультуры. Большой интерес научное сообщество проявляет к изучению преимуществу макро- и микроводорослей в сельском хозяйстве в процессе «демедиализации». Важное направление научных исследований связано с повышением доступа к белкам водорослей, что также может способствовать автономии белка.

Растет популярность проектов по улучшению биодоступности, усвояемости и предварительной обработки водорослей, а также направленные на контроль сельскохозяйственных культур с высоким содержанием белка (макро/микро).

Использование водорослей в области здравоохранения и питания растений не остается в стороне, особенно в районах, где органическое земледелие и давление на сокращение фитосанитарных продуктов усиливаются. Целью является содействие коммерческому развитию рынка биостимуляторов водорослей и поддержка производителей в распространении и диверсификации их продуктов во все более требовательном нормативно-правовом контексте.

В ближайшее время водоросли смогут продемонстрировать весь потенциал в области биоконтроля и особенно в конкретном применении, таком, как огородничество, виноградарство и др. Все большее количество побочных продуктов водорослей и водорослей из IMTA / биоремедиации будет доступна для внесения в качестве удобрений в рамках подхода к рециркуляции минералов и азота, улучшенного за счет воздействия этих матриц на структурирование почвы и усвоение питательных веществ [1–7].

Микроводоросли (включая цианобактерии) – это одноклеточные существа, которые используют световую энергию для роста. Если культивируется всего несколько десятков видов микроводорослей (несколько сотен тысяч в естественной среде), то ежегодное мировое производство составляет около 10 000 тонн. Наиболее культивируемыми видами в порядке убывания являются: спиролина/rthrospira, на долю которой приходится 50% всего мирового производства, за ней следуют хлорелла, дуналиелла, наннохлоропсис и ондетелла. Производство микроводорослей еще не достигло промышленной стадии, отчасти из-за его все еще относительно высоких затрат [8–9].

Преимущество микроводорослей заключается в том, что они имеют довольно короткий цикл размножения (примерно половину дня), что позволяет эффективно производить биомассу в больших количествах. Их развитие включает в себя несколько факторов роста и условий выращивания, таких как: вода, питательные вещества, свет, CO<sub>2</sub>, температура и pH культуры. В зависимости от выращиваемых сортов вода может быть пресной, морской или солоноватой. Питательные вещества, необходимые для их роста, варьируются в зависимости от трофической диеты, выращиваемого штамма и выбранного источника воды. Для фотоавтотрофного режима (т. е. с использованием света без добавления органического углерода) в основном присутствуют азот, фосфаты, железо и диоксид кремния (для диатомовых водорослей), сера, микроэлементы и витамины. В некоторых случаях дефицит питательных веществ применяется добровольно, чтобы изменить рост и производство части биомассы. Дефицит азота может вызвать, например, задержку роста и высокое накопление липидов. Как и в случае с любым хлорофилловым растением, фотосинтез улавливает атмосферный или растворенный углерод в воде из световой энергии для производства биомассы. Свет может исходить от естественного (солнечного) или искусственного (неон, светодиодный).

Микроводоросли имеют большое разнообразие оригинальных молекул в своих клетках. Эта биомасса богата липидами, белками, витаминами и антиоксидантами. Они также являются важным источником почти всех необходимых витаминов: B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, C, E, K<sub>1</sub> и имеют широкий спектр пигментов, флуоресцентных или нефлуоресцентных, которые также могут играть роль антиоксидантов. Помимо хлорофилла (0,5–1% сухого вещества), который является основным фотосинтетическим пигментом во всех фотосинтезирующих водорослях, существует ряд дополнительных пигментов, таких как каротиноиды (0,1–0,2% сухого вещества) и фикобилипротеины. Содержание липидов в микроводорослях в основном состоит из триглицеридов, фосфолипидов, гликолипидов, насыщенных жирных кислот и полиненасыщенных жирных кислот

Микроводоросли обладают невероятными полезными свойствами для растений, способствуют укреплению иммунитета и улучшению здоровья, придают блюдам ни с чем несравнимый, неповторимый вкус. Любая морская капуста является богатым источником йода, важнейшего для нас микроэлемента, от дефицита которого мы часто страдаем.

Микроводоросли составляют основу концепции. Они стали причиной одного из величайших климатических изменений в истории Земли. Их метаболизм, основанный на фотосинтезе, добавил огромное количество кислорода в «токсичную примитивную атмосферу Земли», а затем насытился  $\text{CO}_2$  и другими парниковыми газами. Это изменение позволило развить более энергичные и развитые формы жизни, которые, возможно, смогут помочь в решении экологической проблемы парниковых газов. Помимо биохимии, основной характеристикой микроводорослей является их небольшой размер. В следующих примерах представлен обзор:

- диатомовые водоросли, классифицируемые как микропланктон от 50 до 500 мкм;
- мелкие диатомовые водоросли и многие хризофики, классифицируемые как нанопланктон, имеют размер около 50 мкм;
- мелкие хризофицеи размером от 0,5 до 50 мкм классифицируются как ультрапланктон (Coste, 2008).

Основные характеристики микроводорослей. Большинство микроводорослей называют фотоавтотрофными или автотрофными. Они получают энергию от света посредством фотосинтеза, и их основным источником питательных веществ является  $\text{CO}_2$  в растворе в воде. Их относительная простота и небольшие размеры позволяют осуществлять очень эффективный фотосинтез. Они преобразуют световую энергию в липиды и углеводы, более конденсированные и стабильные формы энергии.

Их водные условия обеспечивают им оптимальный доступ к воде и, в частности, к питательным веществам, таким как растворенный  $\text{CO}_2$ . Например, эти небольшие растения могут быть в десять-тридцать раз более продуктивными по маслу на единицу производственной площади по сравнению с обычными наземными маслянистыми культурами (NREL, 1998) [10–17].

Некоторые виды также могут быть хемогетеротрофными или гетеротрофными. Таким образом, при необходимости они могут черпать энергию и питательные вещества непосредственно из органического вещества, присутствующего в водной среде (Chevalier et al., 2002). Например, *Agmenellum quadruplicatum* становится гетеротрофным в условиях низкой освещенности (Van Baalen et al., 1970). Отмечено, что гетеротрофный вид *Cryptocodinium cohnii* используется для производства масла ДНА, жирной кислоты Омега-3, важность которой признана для поддержания здоровья (Martek, 2008).

Микроводоросли весьма разнообразны и уже проанализировано около 30 000 видов. Это число составляет менее 10% от предполагаемого существующего общего количества.

К 2000 году только около 50 были детально изучены (Cavalla, 2000). Ученые проанализировали микроводоросли, чтобы различить их и разделить на несколько классов в соответствии с общими критериями, такими как пигментация, биологическая структура и метаболизм. Таким образом, виды подразделяются на 11 отделов и 29 классов [17–20].

Наиболее распространенными классами с точки зрения относительной численности являются диатомовые водоросли (bacillariophyceae), зеленые водоросли (chlorophyceae), цианобактерии или сине-зеленые водоросли (cyanophyceae) и золотые водоросли (chrysophyceae) (Википедия, 2008).

Диатомовые водоросли (Bacillariophyceae) доминируют в области океанского фитопланктона, а также присутствуют в пресной или солоноватой воде, во влажных почвах или под влажными листьями. Известно более 100 000 видов диатомовых водорослей. Они образуют колонии, которые обычно кажутся коричневыми или желтыми. Для них характерны кремнеземные доспехи (рисунок 1), которые имеют сложную и чрезвычайно разнообразную геометрическую структуру. Кремнеземные оболочки диатомовых водорослей очень стойкие. Эти небольшие структуры могут накапливаться, образуя диатомитовые отложения или кремневые образования, которые образуют темные слои в нормандских меловых скалах.

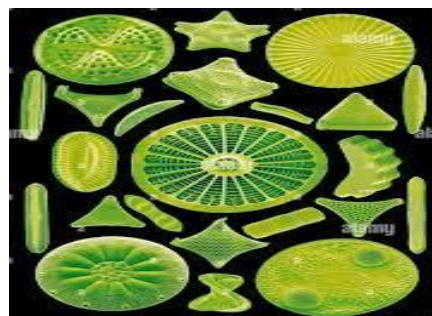


Рисунок 1. Диатомовые водоросли (bacillariophyceae) – *Emilianahuxleyi* (Benemann, 2008)

Figure 1. Diatoms (bacillariophyceae) – *Emilianahuxleyi* (Benemann, 2008)

Они были тщательно исследованы в Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии США (NREL) в рамках исследовательской программы ASP, поскольку они производят интересные масла и белки (NREL, 1998).

Зеленые водоросли (chlorophyceae) Chlorophyceae (рисунок 2) очень многочисленны в пресной воде. Они могут развиваться в одноклеточном режиме или колониями, которые могут стать очень плотными. Они накапливают энергию, которую они захватывают, в основном посредством фотосинтеза, в виде углеводов и масел.

Они могут переносить несколько типов условий. Они также адаптировались к удивительно разнообразным условиям.



Рисунок 2. Зеленые водоросли (chlorophyceae) – Micrasterias, (Coste 2008)

Figure 2. Green algae (chlorophyceae) – Micrasterias, (Coste 2008)

Некоторые виды могут жить на земле или просто на влажных поверхностях, подверженных воздействию света. Они стали предметом интенсивных исследований в рамках энергетической программы АСП Соединенных Штатов (NREL, 1998). Несколько штаммов являются перспективными для производства биотоплива (Lindblad, 2006).

Цианобактерии или сине-зеленые водоросли (cyanophyceae) – это очень древнее семейство микроводорослей насчитывает около 2000 видов в различных средах обитания. Похожие по строению на бактерии, эти организмы не связаны ни с одной другой группой водорослей, могут поглощать и фиксировать азот непосредственно из атмосферы. Виды цианобактерий также могут быть красными, желтыми или коричневыми.

Их характерный цвет (рисунок 3) слишком часто указывает на загрязненную воду. Помимо следов NPK, им требуются только четыре жизненно важных источника: вода, свет, азот и CO<sub>2</sub>. Его можно найти во всех средах обитания, водных или наземных, объединяя эти жизненно важные источники. Спирулина (*Spirulina* sp.) является одним из наиболее производимых в мире видов продукции, предназначенной главным образом для потребления человеком (CRBM, 2006).



Рисунок 3. Цианобактерии (cyanophyceae) – Glaucocystis (Koning, 1994)

Figure 3. Cyanobacteria (cyanophyceae) – Glaucocystis (Koning, 1994)

Золотистые водоросли (chrysophyceae) встречаются в основном в пресной воде и насчитывают около 1000 видов. Они напоминают диатомовые водоросли, но могут иметь больше цветов, чем диатомовые водоросли, от желтого до коричневого и оранжевого (рисунок 4). У некоторых видов золотистых водорослей оболочка в основном состоит из кремнезема и в меньших пропорциях из целлюлозы (NREL, 1998). Выбор наиболее продуктивных сортов, адаптированных к каждому применению, имеет решающее значение для успеха проекта выращивания.



Рисунок 4. Золотистые водоросли (Chrysophyceae) – Uroglenopsis (Oyadomary, 2005)

Figure 4. Golden algae (Chrysophyceae) – Uroglenopsis (Oyadomary, 2005)

Большая часть исследований посвящена поиску лучших штаммов. Выбор вида микроводорослей в итоге зависит от имеющихся организмов, способных синтезировать целевые продукты и достигать урожаев, необходимых для удовлетворения экономических и технических ограничений. Поэтому при выборе необходимо учитывать преобладающие климатические условия, особенно средние и минимальные температуры и наличие необходимых питательных веществ (NREL, 1998). Например, в теплых районах к югу от 35° северной широты считается возможной продуктивность 100 тонн биомассы водорослей на гектар в год.

Все чаще считается, что биофлокуляция может значительно облегчить «сбор» микроводорослей. Это может привести к экономии около 15% на этапах экстракции. Таким образом, улавливание 95% взвешенной биомассы станет возможным за 24 часа (Van Harmelen et al., 2006).

### Заключение

В свиноводстве, уже в фазе отъема, проблемы с пищеварением поросят могут привести к использованию антибиотиков для восстановления здоровья кишечника. Два экспериментальных исследования показали способность *Chlorella vulgaris* и *Spirulina platensis* улучшать пищеварение и усвоение питательных веществ. Снижают, соответственно, частоту диареи и потребность в антибиотиках.

В птицеводстве более высокое содержание полиненасыщенных веществ делает мясо и яйца гриля более восприимчивыми к окислению.

Введение микроводорослей смягчает это явление благодаря антиоксидантам, которых нет в других источниках, например, в рыбьем жире. Омега-3 также показала положительное влияние на иммунную систему, на рост и фертильность, а также на прочность костей свиней и птиц.

Добавление минимального количества – 2% красных водорослей (аспарагопсиса) в рацион позволяет снизить до 99% выбросы парниковых газов жвачным животным. Это основное, что было выявлено ФАО, что имеет значение в производственной цепочке животноводства и способствует уменьшению изменения климата.

Использование микроводорослей в зоотехническом питании снижает зависимость от наземных культур, например, сои, кукурузы, уменьшает выбросы парниковых газов, улучшает питательные и оздоровительные свойства продуктов животного происхождения. Таким образом, было установлено, что введение определенных микроводорослей крупному рогатому скоту способствует оптимальному соотношению между Омега-3 и Омега-6 и увеличению содержания CLA (конъюгированной линолевой кислоты) в их мясе.

В аквакультуре микроводоросли являются альтернативой часто неустойчивых продуктов

на основе рыбы. Благодаря богатству белками, Омега-3 и биологически активными веществами (например, каротиноидами) с антиоксидантным, иммуностимулирующим и стимулирующим рост действиями они широко используются для разведения и ухода за различными рыбами, а также креветками и двускатными моллюсками. Микроводоросли оказывают благоприятное влияние на нерест и размножение.

В пчеловодстве контроль питания имеет важное значение для обеспечения здоровья пчел, так как недоедание усугубляет вредное воздействие паразитов, патогенов и пестицидов. Биохимический профиль микроводорослей, сравнимый с профилем пыльцы (белки, липиды, микроэлементы, антиоксиданты и пребиотики), делает их ценным заменителем пищи для пчел, которые используют мед, лишенный естественной пыльцы. Таким образом, можно снизить смертность в пчелиных семьях, благодаря диете без пестицидов и антибиотиков (по сравнению с неорганическими наземными культурами).

Использование водорослей для создания фитосанитарных продуктов перспективная и востребованная направленность исследований.

### Литература



- 1 Абдулагатов И.М., Алхасов А.Б., Догеев Г.Д., Тумалаев Н.Р. и др. Микроводоросли и их технологические применения в энергетике и защите окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. № 1. С. 166–183.
- 2 Авсиян А.Л. Влияние суточного светового режима на продуктивность культуры *Arthrospira platensis* Gomont // Вопросы современной альгологии. 2018. № 3 (18).
- 3 Боровков А.Б., Геворгиз Р.Г. Продуктивность *Spirulina platensis* и *Tetraselmis viridis* при использовании различных методов культивирования // Экология моря. 2005. Т. 70. С. 9–13.
- 4 Быков А.В., Кван О.В., Сизенцов А.Н., Межуева Л.В. и др. Разработка технологии получения кормовых продуктов на основе ультразвукового воздействия на целлюлозосодержащие и жиросодержащие отходы // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 236–242. Doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-236-242
- 5 Шевцов А.А., Дранников А.В., Дерканосова А.А., Торшина А.А. и др. Исследование кормовой белковой добавки из растительного сырья со свойствами фитобиотика // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 65–70. doi: 10.20914/2310-1202-2020-3-65-70
- 6 Massot A. et al. Biodegradation of phytosanitary products in biological wastewater treatment // Water research. 2012. V. 46. №. 6. P. 1785–1792.
- 7 Kapoore R.V., Wood E.E., Llewellyn C.A. Algae biostimulants: A critical look at microalgal biostimulants for sustainable agricultural practices // Biotechnology Advances. 2021. V. 49. P. 107754.
- 8 Markou G. et al. Using agro-industrial wastes for the cultivation of microalgae and duckweeds: Contamination risks and biomass safety concerns // Biotechnology advances. 2018. V. 36. №. 4. P. 1238–1254.
- 9 Kumar J. et al. An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance // Plants. 2021. V. 10. №. 6. P. 1185.
- 10 Chaïb S. et al. Allelopathy and allelochemicals from microalgae: An innovative source for bio-herbicidal compounds and biocontrol research // Algal Research. 2021. V. 54. P. 102213.
- 11 Rumin J. et al. Improving microalgae research and marketing in the European Atlantic area: Analysis of major gaps and barriers limiting sector development // Marine drugs. 2021. V. 19. №. 6. P. 319.
- 12 Gwinn K.D. Bioactive natural products in plant disease control // Studies in natural products chemistry. 2018. V. 56. P. 229–246.
- 13 Каленик Т.К., Добрынина Е.В., Остапенко В.М., Тори Я. и др. Исследование пигментов сине-зеленой водоросли спирулины платенсис для практического использования в технологиях кондитерских изделий // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 2. С. 170–176. doi: 10.20914/2310-1202-2019-2-170-176
- 14 Буслаев В.Ю., Минина В.И., Торгунакова А.В., Соболева О.А. и др. 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
- 15 Курчаева Е.Е., Востроилов А.В. Эффективность использования кормовой синбиотической добавки ПроСтор для получения ресурсов кролиководства // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 3. С. 50–56. doi: 10.20914/2310-1202-2019-3-50-56

- 16 Tang D.Y.Y. et al. Potential utilization of bioproducts from microalgae for the quality enhancement of natural products // *Bioresource technology*. 2020. V. 304. P. 122997.
- 17 Moreira J.B. et al. Role of microalgae in circular bioeconomy: from waste treatment to biofuel production // *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2023. V. 25. №. 2. P. 427–437.
- 18 El-Sayed A.E.K.B. et al. Bio and phyto-chemical effect of *Amphora coffeaeformis* extract against hepatic injury induced by paracetamol in rats // *Molecular biology reports*. 2018. V. 45. P. 2007–2023.
- 19 Ahmad I. et al. Role of microalgae in sustainable energy and environment // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2021. V. 1051. №. 1. P. 012059.
- 20 Suteu D. et al. Challenge of utilization vegetal extracts as natural plant protection products // *Applied Sciences*. 2020. V. 10. №. 24. P. 8913.



## References

- 1 Abdulagatov I.M., Alkhasov A.B., Dogeev G.D., Tumalaev N.R. et al. Microalgae and their technological applications in energy and environmental protection. South of Russia: ecology, development. 2018. vol. 13. no. 1. pp. 166–183. (in Russian).
- 2 Avsiyan A.L. The influence of the daily light regime on the productivity of the culture *Arthrospira platensis* Gomont. *Questions of modern algology*. 2018. no. 3 (18). (in Russian).
- 3 Borovkov A.B., Gevorgiz R.G. Productivity of *Spirulina platensis* and *Tetraselmis viridis* using various cultivation methods. *Sea Ecology*. 2005. vol. 70. pp. 9–13. (in Russian).
- 4 Bykov A.V., Kvan O.V., Sizentsov A.N., Mezhueva L.V. et al. Development of technology for producing feed products based on ultrasonic influence on cellulose-containing and fat-containing waste. *Proceedings of VSUET*. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 236–242. doi: 10.20914/2310–1202–2018–3–236–242 (in Russian).
- 5 Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Derkanosova A.A., Torshina A.A. et al. Study of a feed protein additive from plant raw materials with phytobiotic properties. *Proceedings of VSUET*. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 65–70. doi: 10.20914/2310–1202–2020–3–65–70 (in Russian).
- 6 Massot A. et al. Biodegradation of phytosanitary products in biological wastewater treatment. *Water research*. 2012. vol. 46. no. 6. pp. 1785–1792.
- 7 Kapoore R.V., Wood E.E., Llewellyn C.A. Algae biostimulants: A critical look at microalgal biostimulants for sustainable agricultural practices. *Biotechnology Advances*. 2021. vol. 49. pp. 107754.
- 8 Markou G. et al. Using agro-industrial wastes for the cultivation of microalgae and duckweeds: Contamination risks and biomass safety concerns. *Biotechnology advances*. 2018. vol. 36. no. 4. pp. 1238–1254.
- 9 Kumar J. et al. An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants*. 2021. vol. 10. no. 6. pp. 1185.
- 10 Chaïb S. et al. Allelopathy and allelochemicals from microalgae: An innovative source for bio-herbicidal compounds and biocontrol research. *Algal Research*. 2021. vol. 54. pp. 102213.
- 11 Rumin J. et al. Improving microalgae research and marketing in the European Atlantic area: Analysis of major gaps and barriers limiting sector development. *Marine drugs*. 2021. vol. 19. no. 6. pp. 319.
- 12 Gwinn K.D. Bioactive natural products in plant disease control. *Studies in natural products chemistry*. 2018. vol. 56. pp. 229–246.
- 13 Kalenik T.K., Dobrynina E.V., Ostapenko V.M., Tori Y. et al. Study of pigments of the blue-green algae *spirulina platensis* for practical use in confectionery technologies. *Proceedings of VSUET*. 2019. vol. 81. no. 2. pp. 170–176. doi: 10.20914/2310–1202–2019–2–170–176 (in Russian).
- 14 Buslaev V.Yu., Minina V.I., Torgunakova A.V., Soboleva O.A. and others. Possibilities of using biologically active substances of plants in the treatment of lung cancer. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 4. pp. 115–123. doi: 10.20914/2310–1202–2022–4–115–123 (in Russian).
- 15 Kurchaeva E.E., Vostroilov A.V. Efficiency of using the feed synbiotic additive ProStor for obtaining rabbit breeding resources. *Proceedings of VSUET*. 2019. vol. 81. no. 3. pp. 50–56. doi: 10.20914/2310–1202–2019–3–50–56 (in Russian).
- 16 Tang D.Y.Y. et al. Potential utilization of bioproducts from microalgae for the quality enhancement of natural products. *Bioresource technology*. 2020. vol. 304. pp. 122997.
- 17 Moreira J.B. et al. Role of microalgae in circular bioeconomy: from waste treatment to biofuel production. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2023. vol. 25. no. 2. pp. 427–437.
- 18 El-Sayed A.E.K.B. et al. Bio and phyto-chemical effect of *Amphora coffeaeformis* extract against hepatic injury induced by paracetamol in rats. *Molecular biology reports*. 2018. vol. 45. pp. 2007–2023.
- 19 Ahmad I. et al. Role of microalgae in sustainable energy and environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2021. vol. 1051. no. 1. pp. 012059.
- 20 Suteu D. et al. Challenge of utilization vegetal extracts as natural plant protection products. *Applied Sciences*. 2020. vol. 10. no. 24. pp. 8913.

## 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, 394000, Россия, aa-derk@yandex.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>  
**Алексей В. Дранников** д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, drannikov@list.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-3060-8688>

## Information about authors

**Anna A. Derkanosova** Dr.. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, aa-derk@yandex.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>  
**Aleksej V. Drannikov** Dr.. Sci. (Engin.), professor, food production machines and apparatuses department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, drannikov@list.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-3060-8688>

**Сильвестр Ншмиримана** аспирант, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, sisinshimi@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-1571-1203>

**Никита А. Хрячков** студент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, nikita15.08.023333@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2979-142X>

**Лилия А. Хрячкова** к.ф.н., доцент, кафедра иностранного языка, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, azucena14@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2979-142X>

**Галина Н. Егорова** к.т.н., доцент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394000, Россия, egorovahp@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9907-9649>

#### 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.

**Sil'vestr Nshimirimana** graduate student, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, sisinshimi@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-1571-1203>

**Nikita A. Hryachkov** student, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, nikita15.08.023333@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2979-142X>

**Liliya A. Hryachkova** Cand. Sci. (Phil.), associate professor, foreign language department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, azucena14@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2979-142X>

**Galina N. Egorova** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394000, Russia, egorovahp@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9907-9649>

#### 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 05/10/2023	После редакции 08/11/2023	Принята в печать 27/11/2023
Received 05/10/2023	Accepted in revised 08/11/2023	Accepted 27/11/2023

## Математическое и алгоритмическое моделирование комплексного медико-социального интегрального показателя для работников АПК

Наталья А. Гладских<sup>1,2</sup> [ngladskikh@rambler.ru](mailto:ngladskikh@rambler.ru)  
Максим Г. Устимов<sup>2</sup> [ngladskikh@rambler.ru](mailto:ngladskikh@rambler.ru)  
Егор Н. Левицкий<sup>2</sup> [nglad-skikh@rambler.ru](mailto:nglad-skikh@rambler.ru)

1 Воронежский государственный медицинский университет ул. Студенческая, 10, г. Воронеж, 394000, Россия

2 Воронежский институт высоких технологий- автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия

**Аннотация.** Качественная и количественная оценка состояния здоровья в том числе работников АПК является важной и актуальной задачей. При разработке методики расчета вероятности утраты работником трудоспособности в зависимости от состояния условий труда на рабочем месте было показано, что в контексте решения задач по оценке влияния условий труда на здоровье работника, в том числе, в процедурах оценки профессионального риска, вероятность утраты трудоспособности представляет собой не что иное, как количественную оценку вероятности развития профессионального заболевания или производственной травмы в конкретных условиях труда, что, на первый взгляд, можно было бы охарактеризовать показателями частоты профессиональной заболеваемости и травматизма с учетом условий труда. На базе участковых отделений городских поликлиник было проведено обследование состояния здоровья работников АПК. Для сбора информации о пациентах использовалась «Анкета о здоровье», которая по решению Всемирной Организации Здравоохранения введена во всех медицинских учреждениях анкета о здоровье пациента. Было собрано и проанализировано 156 анкет. На первом этапе обработки информации исследована структура медико-социальных характеристик работников АПК. На втором этапе применялся метод априорного ранжирования, использующий экспертную информацию для ранговой оценки каждого значения признака. В ходе исследования были рассчитаны балльные оценки, необходимые для последующего расчета комплексного интегрального медико-социального показателя здоровья. Результаты исследования свидетельствуют о наличии отрицательной тенденции в динамике состояния здоровья работников АПК, что в первую очередь связано с нерациональным питанием, недостатком двигательной активности, самолечением, редкими обращениями к медицинским специалистам. В связи с этим важными задачами являются, прежде всего, разработка и внедрение профилактических, лечебно-реабилитационных технологий и приоритетных программ в работу предприятий АПК, в частности, рациональная организация питания в предприятиях АПК, оптимизация двигательного режима.

**Ключевые слова:** интегральный показатель, реабилитационный потенциал, априорное ранжирование, экспертное оценивание, балльные оценки, коэффициент конкордации.

## Mathematical and algorithmic modeling of a complex medical and social integral indicator for agricultural workers

Natalia A. Gladskikh<sup>1,2</sup> [ngladskikh@rambler.ru](mailto:ngladskikh@rambler.ru)  
Maxim G. Ustimov<sup>2</sup> [ngladskikh@rambler.ru](mailto:ngladskikh@rambler.ru)  
Egor N. Levitsky<sup>2</sup> [nglad-skikh@rambler.ru](mailto:nglad-skikh@rambler.ru)

1 Voronezh State Medical University st. Studencheskaya, 10, Voronezh, 394000, Russia

2 Voronezh Institute of High Technologies, st. Lenina, 73a, Voronezh, 394043, Russia

**Abstract.** Qualitative and quantitative assessment of the health status of workers in the agro-industrial complex is an important and urgent task. When developing a methodology for calculating the probability of an employee losing ability to work depending on the state of working conditions in the workplace, it was shown that in the context of solving problems of assessing the impact of working conditions on the health of a worker, including in procedures for assessing occupational risk, the probability of loss of ability to work is not nothing more than a quantitative assessment of the probability of developing an occupational disease or work-related injury in specific working conditions, which, at first glance, could be characterized by indicators of the frequency of occupational diseases and injuries taking into account working conditions. A survey of the health status of agricultural workers was conducted at local departments of city clinics. To collect information about patients, we used the "Health Questionnaire", which, by decision of the World Health Organization, introduced a questionnaire about the patient's health in all medical institutions. 156 questionnaires were collected and analyzed. At the first stage of information processing, the structure of medical and social characteristics of agricultural workers was studied. At the second stage, the a priori ranking method was used, which uses expert information to rank each attribute value. During the study, the scores necessary for the subsequent calculation of a complex integral medical and social health indicator were calculated. The results of the study indicate the presence of a negative trend in the dynamics of the health status of agricultural workers, which is primarily associated with poor nutrition, lack of physical activity, self-medication, and rare visits to medical specialists. In this regard, important tasks are, first of all, the development and implementation of preventive, treatment and rehabilitation technologies and priority programs in the work of agro-industrial enterprises, in particular, the rational organization of nutrition in agro-industrial enterprises, optimization of the motor regime.

**Keywords:** integral indicator, rehabilitation potential, a priori ranking, expert assessment, point estimates, coefficient of concordance.

### Для цитирования

Гладских Н.А., Устимов М.Г., Левицкий Е.Н. Математическое и алгоритмическое моделирование комплексного медико-социального интегрального показателя для работников АПК // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 109–114. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-109-114

### For citation

Gladskikh N.A., Ustimov M.G., Levitsky E.N. Mathematical and algorithmic modeling of a complex medical and social integral indicator for agricultural workers. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 109–114. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-109-114

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

## Введение

Качественная и количественная оценка состояния здоровья в том числе работников АПК является важной и актуальной задачей. При разработке в 2008 году Методики расчета вероятности утраты работником трудоспособности в зависимости от состояния условий труда на рабочем месте было показано, что в контексте решения задач по оценке влияния условий труда на здоровье работника, в том числе, в процедурах оценки профессионального риска, вероятность утраты трудоспособности представляет собой не что иное, как количественную оценку вероятности развития профессионального заболевания или производственной травмы в конкретных условиях труда, что, на первый взгляд, можно было бы охарактеризовать показателями частоты профессиональной заболеваемости и травматизма с учетом условий труда [1–5]. В нашем исследовании использовалась Анкета о здоровье, которые работники АПК заполняли. Было собрано и проанализировано 156 анкет.

## Материалы и методы

На базе участковых отделений городских поликлиник было проведено обследование состояния здоровья работников АПК. Для сбора информации о пациентах использовалась «Анкета о здоровье», которая по решению Всемирной Организации Здравоохранения введена во всех медицинских учреждениях анкета о здоровье пациента [6–10].

На первом этапе обработки информации исследована структура медико-социальных характеристик работников АПК. На втором этапе применялся метод априорного ранжирования, использующий экспертную информацию для ранговой оценки каждого значения признака. При сборе априорной информации экспертам (8 врачей участковых терапевтов со стажем работы от 3-х до 20 лет) предложили заполнить анкеты из показателей, по их мнению, наиболее влияющие на здоровье пациентов. Показатели ранжированы от 1 (наиболее значимый признак) до 16 (наименее влияющий признак). Для каждого показателя была разработана система балльных оценок от 1 до 10. Согласованность мнений специалистов определялась исчислением коэффициента конкордации, который составил 0,79, что подтверждает гипотезу о согласованности экспертов. По данным матрицы ранжирования были определены значения весов  $w_i$  отдельных показателей, влияющих на показатель здоровья.

По сформированной матрице ранжирования на следующем этапе производится оценка

согласованности экспертов на основе использования коэффициента конкордации:

$$W = \frac{S(d^2)}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - 1) - m \sum_{j=1}^m T_j},$$

где  $S(d)^2$  – сумма квадратов разностей

$$d = \left( \sum_{j=1}^m a_{ji} \right) - \frac{1}{2} m(n+1);$$

где  $a_{ji}$  – обобщенная сумма рангов  $j$ -того показателя;  $T_j$  – величина, определяемая по формуле

$$T_j = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n (t_j^3 - t_j);$$

$t_j$  – число повторений  $i$ -го ранга в  $j$ -той строке матрицы.

В случае, если матрица ранжирования не содержит совпавших рангов коэффициент конкордации определяется по следующей формуле:

$$W = \frac{12S(d^2)}{m^2(n^3 - 1)}.$$

Величина  $W$  находится в пределах [0..1]. При  $W = 1$  эксперты единодушны в оценке значимости показателей, при  $W = 0$  согласие отсутствует.

Оценка значимости коэффициента конкордации  $W$  осуществляется с помощью критерия Пирсона. Для этого рассчитывается  $\chi_{\text{рас}}^2 : \chi_{\text{кр}}^2 = m(n-1)W$ .

Если при числе степеней свободы  $f = n-1$  и установленном уровне значимости критическое значение  $\chi_{\text{кр}}^2$  меньше расчетного  $\chi_{\text{рас}}^2$ , то гипотеза о наличии согласия экспертов принимается, в противном случае – отклоняется.

Значения весов  $w_i$ , в формуле для расчета интегрального показателя, рассчитываются следующим образом:

$$w_i = \frac{m \cdot n - \sum_{j=1}^m r_{ij}}{n \cdot m \cdot \left( n - \frac{m}{2} - 1 \right)}, \quad i = \overline{1, n}.$$

Здесь  $r_{ij}$  ( $j = \overline{1, m}$ ) – ранг, поставленный  $j$ -м экспертом, причем  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

В связи с тем, что сумма  $w_i$  равна 1, а параметры, входящие в интегральный показатель, оцениваются по 22-балльной шкале, максимально возможное значение интегрального показателя равно максимально возможному баллу (22), а минимальное – минимально возможному баллу.

Интегральный медико-социальный показатель определяется следующим образом:

$$P_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot X_i^{\sigma}$$

где  $w_i$  – вес (значимость)  $i$ -го показателя,  $X_i^{\sigma}$  – балльная оценка  $i$ -го показателя.

По каждому показателю, выявленному с помощью метода «дискретных корреля-

ционных плеяд», была разработана система балльных оценок (таблица 1).

### Результаты

В ходе исследования были рассчитаны балльные оценки, необходимые для последующего расчета комплексного интегрального медико-социального показателя здоровья

Таблица 1.

Балльные оценки интегрального медико-социального показателя здоровья работников АПК

Table 1.

Scores of the integral medical and social indicator of health of agricultural workers

Показатель	Index	Диапазон показателя и его градации	Value	Оценка показателя в баллах Grade
Сердечно-сосудистые заболевания (X1)	Cardiovascular diseases (X1)	инфаркт миокарда; стенокардия; порок сердца; сердечная недостаточность; аритмия; инсульт; другие	myocardial infarction; angina pectoris; heart defect; heart failure; arrhythmia; stroke; other	10; 8; 6; 4; 2; 2; 2; 1
Заболевания органов дыхания (X2)	Respiratory diseases (X2)	бронхиальная астма хронический бронхит туберкулез другие	bronchial asthma chronic bronchitis tuberculosis other	10; 6; 2; 1
Заболевания желудочно-кишечного тракта (X3)	Diseases of gastrointestinal tract (X3)	гастрит; язвенная болезнь желудка/12-перстной кишки; другие	gastritis; peptic ulcer; others	10; 6; 1
Заболевания печени и желчного пузыря (X4)	Diseases of the liver and gallbladder (X4)	инфекционный гепатит; другие	infectious hepatitis; others	10; 1
Заболевания нервной системы (X5)	Diseases of the nervous system (X5)	эпилепсия; параличи; судороги; потеря сознания; другие	epilepsy; paralysis; seizures; loss of consciousness; others	10; 8; 6; 4; 1
Эндокринные заболевания (X6)	Endocrine diseases (X6)	сахарный диабет; тиреотоксикоз; гипотиреоз; другие	diabetes mellitus; thyrotoxicosis; hypothyroidism; others	10; 8; 6; 2
Заболевания крови (X7)	Blood diseases (X7)	повышенная/пониженная свертываемость крови; другие	increased/decreased blood clotting; others	10; 2
Заболевания ЛОР органов (X8)	Diseases of ENT organs (X8)	имеются; не имеются	present; not present	10; 1
Заболевания костной системы, суставов (X9)	Diseases of bone system, joints (X9)	остеопороз; артриты; другие	osteoporosis; arthritis; other	10; 8; 2
Ревматизм (X10)	Rheumatism (X10)	есть; нет	yes; no	10; 1
Заболевания почек (X11)	Kidney diseases (X11)	есть; нет	yes; no	10; 1
Заболевания кожи (X12)	Skin diseases (X12)	есть; нет	yes; no	10; 1
Онкологические заболевания (X13)	Oncologic diseases (X13)	есть; нет	yes; no	10; 1
Проводилась лучевая терапия, химиотерапия за последние 10 лет (X14)	Radiation therapy, chemotherapy for the last 10 years (X14)	да; нет	yes; no	10; 1
ВИЧ-инфекция, СПИД (X15)	HIV infection, AIDS (X15)	есть; нет	yes; no	10; 1
Другие заболевания (X16)	Other diseases (X16)	есть; нет	yes; no	10; 1
Были у Вас травмы головы или шеи (X17)	Have you had any head or neck injuries (X17)	да; нет	yes; no	10; 1
Подвергались ли хирургическим операциям (X18)	Have you undergone surgery (X18)	да; нет	yes; no	10; 1
Проводилось ли переливание крови (X19)	Have you had a blood transfusion (X19)	да; нет	yes; no	10; 1
Наблюдается ли у Вас склонность к кровотечениям, в т. ч. при удалении зубов (X20)	Do you have a tendency to bleed, including during tooth extraction (X20)	да; нет	yes; no	10; 1
Аллергологический анамнез (X21)	Allergic history (X21)	есть аллергия; нет	have allergies; no	10; 1

Таблица 2.  
Оценки экспертов.

Table 2.  
Expert ratings

Показатель Index	Оценки экспертов   Grades							
	11	22	23	44	55	66	77	88
XX1	11	12	11	13	11	12	13	11
XX2	22	22	22	22	22	22	22	22
XX3	32	33	33	33	32	33	33	32
XX4	44	43	44	43	44	43	43	44
XX5	X5	X4	X5	X5	X5	X4	X5	X5
XX6	66	66	66	65	66	66	65	66
XX7	77	76	77	76	77	76	76	77
XX8	X8	X7	X8	X8	X8	X7	X8	X8
XX9	99	99	99	77	99	99	77	99
XX10	110	111	110	110	110	111	110	110
XX11	111	110	111	111	19	110	111	19
XX12	112	111	112	112	112	111	112	112
XX13	111	110	112	113	111	110	113	111
XX14	114	110	112	114	114	110	114	114
XX15	115	11	115	111	115	11	111	115
XX16	116	116	115	116	116	115	116	115
XX17	117	117	117	117	116	117	117	116
XX18	121	116	118	118	121	116	118	121
XX19	119	119	119	119	119	119	119	119
XX20	220	221	220	220	220	221	220	219
XX21	221	212	221	221	221	212	221	210

В ходе исследования была разработана прогностическая модель комплексного интегрального медико-социального показателя, которая выглядит следующим образом:  $Y = 0,1(6) \cdot x_1 + 0,2 \cdot x_2 + 0,28(3) \cdot x_3 + 0,38(3) \cdot x_4 + 0,21(6) \cdot x_5 + 0,12 \cdot x_6 + 0,01 \cdot x_7 + 0,1 \cdot x_8 + 0,02 \cdot x_9 + 0,1 \cdot x_{10} + 0,0(3) \cdot x_{11} + 0,021 \cdot x_{12} + 0,12 \cdot x_{13} + 0,01 \cdot x_{14} + 0,003 \cdot x_{15} + 0,021 \cdot x_{16} + 0,12 \cdot x_{17} + 0,021 \cdot x_{18} + 0,004 \cdot x_{19} + 0,011 \cdot x_{20} + 0,012 \cdot x_{21}$

Таблица 3.  
Уровень медико-социального комплексного показателя здоровья

Table 3.  
Level of medical and social complex health indicator

Значения медико- социального комплексного показателя здоровья Values of medical and social complex health indicator	Нормальный Normal	Средний Medium	Низкий Low
Y	1,2–1,7	0,4–1,2	0–0,4

### Заключение

Разработанная методика и модель комплексного интегрального медико-социального показателя были апробированы на базе терапевтического отделения ВГП № 10. Модели показали свою клиническую эффективность.

Результаты исследования свидетельствуют о наличии отрицательной тенденции в динамике состояния здоровья работников АПК, что в первую очередь связано с нерациональным питанием, недостатком двигательной активности, самолечением, редкими обращениями к медицинским специалистам. В связи с этим важными задачами являются, прежде всего, разработка и внедрение профилактических, лечебно-реабилитационных технологий и приоритетных программ в работу предприятий АПК, в частности, рациональная организация питания в предприятиях АПК, оптимизация двигательного режима.

### Благодарности

Статья публикуется при грантовой поддержке Федерального агентства по делам молодёжи (Росмолодёжь) Соглашение № 091–10–2023–069 от 23.05.2023 г. проект «Наука рядом».

### Литература

- 1 Falissard L., Morgand C., Roussel S., Imbaud C. et al. A deep artificial neural network– based model for prediction of underlying cause of death from death certificates: algorithm development and validation // JMIR Medical informatics. 2020. V. 8. №. 4. P. e17125. doi: 10.2196/17125
- 2 Shirwaikar R.D., Acharya D., Makkithaya K., Surulivelrajan M. et al. Optimizing neural networks for medical data sets: A case study on neonatal apnea prediction // Artificial intelligence in medicine. 2019. V. 98. P. 59-76.
- 3 May A.M., DeSimone C.V., Kashou A.H., Hodge D.O. et al. The WCT formula: a novel algorithm designed to automatically differentiate wide-complex tachycardias // Journal of Electrocardiology. 2019. V. 54. P. 61-68.
- 4 Khudov H., Ruban I., Makoveichuk O., Pevtsov H. et al. Development of methods for determining the contours of objects for a complex structured color image based on the ant colony optimization algorithm // Physics and Engineering. 2020. V. 1. P. 34-47. doi: 10.21303/2461-4262.2020.001108
- 5 Vlachopoulos L., Székely G., Gerber C., Fürnstahl P. A scale-space curvature matching algorithm for the reconstruction of complex proximal humeral fractures // Medical image analysis. 2018. V. 43. P. 142-156.
- 6 Kavitha K.S., Ramakrishnan K.V., Singh M.K. Modeling and design of evolutionary neural network for heart disease detection // International Journal of Computer Science Issues (IJCSI). 2010. V. 7. №. 5. P. 272.
- 7 Jeyaraj P.R., Nadar E.R.S. Deep Boltzmann machine algorithm for accurate medical image analysis for classification of cancerous region // Cognitive Computation and Systems. 2019. V. 1. №. 3. P. 85-90. doi: 10.1049/ccs.2019.0004
- 8 Yuan Y., Yan S., Fang Q. Light transport modeling in highly complex tissues using the implicit mesh-based Monte Carlo algorithm // Biomedical Optics Express. 2021. V. 12. №. 1. P. 147-161. doi: 10.1364/BOE.411898
- 9 Kushwaha P.K., Kumaresan M. Machine learning algorithm in healthcare system: A Review // 2021 international conference on technological advancements and innovations (ICTAI). IEEE, 2021. P. 478-481.

- 10 Li X., Li D., Deng Y., Xing J. Intelligent mining algorithm for complex medical data based on deep learning // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. 2021. V. 12. P. 1667-1678.
- 11 Al-Kasasbeh R.T., Korenevskiy N., Alshamasin M.S., Al-Hababbeh O. et al. Fuzzy Mathematical Models for Predicting and Diagnosing Occupational Diseases of Workers in the Agro-industrial Complex in Contact with Pesticides // 2022 8th Annual International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC). IEEE, 2022. P. 290-294.
- 12 Karaeva A.P., Magaril E.R., Kiselev A.V., Cioca L.I. Screening of factors for assessing the environmental and economic efficiency of investment projects in the energy sector // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. V. 19. №. 18. P. 11716.
- 13 Mutanov G., Ziyadin S., Shaikh A.A. Graphic model for evaluating the competitiveness and eco-efficiency of eco-innovative projects // Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2019. V. 6. №. 4. doi: 10.9770/jesi.2019.6.4(41)
- 14 Tamošaitienė J., Khosravi M., Cristofaro M., Chan D.W. et al. Identification and prioritization of critical risk factors of commercial and recreational complex building projects: A Delphi study using the TOPSIS method // Applied Sciences. 2021. V. 11. №. 17. P. 7906.
- 15 Ivlev I., Vacek J., Kneppo P. Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of medical devices under uncertainty // European Journal of Operational Research. 2015. V. 247. №. 1. P. 216-228.
- 16 Ocampo-Melgar A., Bautista S., deSteiguer J.E., Orr B.J. Potential of an outranking multi-criteria approach to support the participatory assessment of land management actions // Journal of environmental management. 2017. V. 195. P. 70-77.
- 17 Attardi R., Cerreta M., Sannicandro V., Torre C.M. et al. Non-compensatory composite indicators for the evaluation of urban planning policy: The Land-Use Policy Efficiency Index (LUPEI) // European Journal of Operational Research. 2018. V. 264. №. 2. P. 491-507.
- 18 Waibel S., Wu W.L., Smith M., Johnson L. et al. Selection of Pediatric Mental Health Quality Measures for Health System Improvement in British Columbia Based on a Modified Delphi Approach // Frontiers in pediatrics. 2022. V. 10. P. 866391.
- 19 Hassan S., Kumbhare D. Validity and diagnosis in physical and rehabilitation medicine: critical view and future perspectives // American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation. 2022. V. 101. №. 3. P. 262-269. doi: 10.1097/PHM.0000000000001768
- 20 Karpouzias G.A., Ramadan S.N., Cost C.E., Draper T.L. et al. Discordant patient–physician assessments of disease activity and its persistence adversely impact quality of life and work productivity in US Hispanics with rheumatoid arthritis // RMD open. 2017. V. 3. №. 2. P. e000551. doi: 10.15863/TAS.2019.06.74.88

## References

- 1 Falissard L., Morgand C., Roussel S., Imbaud C. et al. A deep artificial neural network– based model for prediction of underlying cause of death from death certificates: algorithm development and validation. JMIR Medical informatics. 2020. vol. 8. no. 4. pp. e17125. doi: 10.2196/17125
- 2 Shirwaikar R.D., Acharya D., Makkithaya K., Surulivelrajan M. et al. Optimizing neural networks for medical data sets: A case study on neonatal apnea prediction. Artificial intelligence in medicine. 2019. vol. 98. pp. 59-76.
- 3 May A.M., DeSimone C.V., Kashou A.H., Hodge D.O. et al. The WCT formula: a novel algorithm designed to automatically differentiate wide-complex tachycardias. Journal of Electrocardiology. 2019. vol. 54. pp. 61-68.
- 4 Khudov H., Ruban I., Makoveichuk O., Pevtsov H. et al. Development of methods for determining the contours of objects for a complex structured color image based on the ant colony optimization algorithm. Physics and Engineering. 2020. vol. 1. pp. 34-47. doi: 10.21303/2461-4262.2020.001108
- 5 Vlachopoulos L., Székely G., Gerber C., Fürnstahl P. A scale-space curvature matching algorithm for the reconstruction of complex proximal humeral fractures. Medical image analysis. 2018. vol. 43. pp. 142-156.
- 6 Kavitha K.S., Ramakrishnan K.V., Singh M.K. Modeling and design of evolutionary neural network for heart disease detection. International Journal of Computer Science Issues (IJCSI). 2010. vol. 7. no. 5. pp. 272.
- 7 Jeyaraj P.R., Nadar E.R.S. Deep Boltzmann machine algorithm for accurate medical image analysis for classification of cancerous region. Cognitive Computation and Systems. 2019. vol. 1. no. 3. pp. 85-90. doi: 10.1049/ccs.2019.0004
- 8 Yuan Y., Yan S., Fang Q. Light transport modeling in highly complex tissues using the implicit mesh-based Monte Carlo algorithm. Biomedical Optics Express. 2021. vol. 12. no. 1. pp. 147-161. doi: 10.1364/BOE.411898
- 9 Kushwaha P.K., Kumaresan M. Machine learning algorithm in healthcare system: A Review. 2021 international conference on technological advancements and innovations (ICTAI). IEEE, 2021. pp. 478-481.
- 10 Li X., Li D., Deng Y., Xing J. Intelligent mining algorithm for complex medical data based on deep learning. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. 2021. vol. 12. pp. 1667-1678.
- 11 Al-Kasasbeh R.T., Korenevskiy N., Alshamasin M.S., Al-Hababbeh O. et al. Fuzzy Mathematical Models for Predicting and Diagnosing Occupational Diseases of Workers in the Agro-industrial Complex in Contact with Pesticides. 2022 8th Annual International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC). IEEE, 2022. pp. 290-294.
- 12 Karaeva A.P., Magaril E.R., Kiselev A.V., Cioca L.I. Screening of factors for assessing the environmental and economic efficiency of investment projects in the energy sector. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. vol. 19. no. 18. pp. 11716.
- 13 Mutanov G., Ziyadin S., Shaikh A.A. Graphic model for evaluating the competitiveness and eco-efficiency of eco-innovative projects. Entrepreneurship and Sustainability Issues. 2019. vol. 6. no. 4. doi: 10.9770/jesi.2019.6.4(41)
- 14 Tamošaitienė J., Khosravi M., Cristofaro M., Chan D.W. et al. Identification and prioritization of critical risk factors of commercial and recreational complex building projects: A Delphi study using the TOPSIS method. Applied Sciences. 2021. vol. 11. no. 17. pp. 7906.
- 15 Ivlev I., Vacek J., Kneppo P. Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of medical devices under uncertainty. European Journal of Operational Research. 2015. vol. 247. no. 1. pp. 216-228.

16 Ocampo-Melgar A., Bautista S., deSteiguer J.E., Orr B.J. Potential of an outranking multi-criteria approach to support the participatory assessment of land management actions. *Journal of environmental management*. 2017. vol. 195. pp. 70-77.

17 Attardi R., Cerreta M., Sannicandro V., Torre C.M. et al. Non-compensatory composite indicators for the evaluation of urban planning policy: The Land-Use Policy Efficiency Index (LUPEI). *European Journal of Operational Research*. 2018. vol. 264. no. 2. pp. 491-507.

18 Waibel S., Wu W.L., Smith M., Johnson L. et al. Selection of Pediatric Mental Health Quality Measures for Health System Improvement in British Columbia Based on a Modified Delphi Approach. *Frontiers in pediatrics*. 2022. vol. 10. pp. 866391.

19 Hassan S., Kumbhare D. Validity and diagnosis in physical and rehabilitation medicine: critical view and future perspectives. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2022. vol. 101. no. 3. pp. 262-269. doi: 10.1097/PHM.0000000000001768

20 Karpouzas G.A., Ramadan S.N., Cost C.E., Draper T.L. et al. Discordant patient–physician assessments of disease activity and its persistence adversely impact quality of life and work productivity in US Hispanics with rheumatoid arthritis. *RMD open*. 2017. vol. 3. no. 2. pp. e000551. doi: 10.15863/TAS.2019.06.74.88

#### Сведения об авторах

**Наталья А. Гладских** к.т.н., доцент, Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия, ngladskikh@rambler.ru

**Максим Г. Устимов** аспирант, Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия, ngladskikh@rambler.ru

**Егор Н. Левицкий** аспирант, Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия, nglad-skikh@rambler.ru

#### Information about authors

**Natalia A. Gladskikh** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Voronezh Institute of High Technologies, st. Lenina, 73a, Voronezh, 394043, Russia, ngladskikh@rambler.ru

**Maxim G. Ustimov** graduate student, Voronezh Institute of High Technologies, st. Lenina, 73a, Voronezh, 394043, Russia, ngladskikh@rambler.ru

**Egor N. Levitsky** graduate student, Voronezh Institute of High Technologies, st. Lenina, 73a, Voronezh, 394043, Russia, nglad-skikh@rambler.ru

#### 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.

<b>Поступила</b> 29/09/2023	<b>После редакции</b> 18/10/2023	<b>Принята в печать</b> 10/11/2023
<b>Received</b> 29/09/2023	<b>Accepted in revised</b> 18/10/2023	<b>Accepted</b> 10/11/2023

## Разработка функциональных алгоритмов и концептуальной модели информационно-аналитической системы поддержки управления региональным агропромышленным комплексом


Анна В. Ликнина<sup>1</sup> [anna\\_linkina@rambler.ru](mailto:anna_linkina@rambler.ru)  0000-002-8429-1292  
Владислав С. Рошин<sup>1</sup> [conf\\_vivt@bk.ru](mailto:conf_vivt@bk.ru)

<sup>1</sup> Воронежский институт высоких технологий - автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия

**Аннотация.** В статье рассматриваются возможности применения инструментов цифровизации при организации и оптимизации управленческих систем регионального агропромышленного комплекса. Описываются основные задачи и функции проектируемой системы с точки зрения построения оптимизационных моделей поддержки принятия решения на предприятиях сельскохозяйственной направленности. Приводится структура концептуальной модели верхнего уровня разработанной системы, которая способствует решению задач автоматизации сбора и обработки разнородных данных и формированию отчётов по результатам анализа полученных значений. На основе использования объектно-ориентированного подхода в нотации UML 2.0 разработана диаграмма прецедентов для формализации вариантов взаимодействия пользователей с модулями системы. Выделены основные категории пользователей системы. Продемонстрирована интеграция модуля отчетности, включающего стандартные шаблоны, утвержденные на законодательном уровне РФ (17 форм по основным показателям сельскохозяйственного производства). Приводится пошаговая разработка функциональных алгоритмов и концептуальной модели и выполняется построение структурных и поведенческих моделей для детального отображения информационной и логической моделей проектируемой системы управления поддержки принятия решений в региональном агропромышленном комплексе. Оценивается эффективность внедрения автоматизированного интегрированного инструментария на предприятиях различного масштаба и уровня организации производства на уровне 53%. Даются рекомендации по дальнейшему совершенствованию цифрового инструментария и внедрения передовых технологий в агропромышленном комплексе. Внедрение предложенной нами системы может существенно помочь в решении проблем автоматизации и оптимизации существующей структуры управления, а также позволяет сократить издержки производства, минимизировать использование трудовых ресурсов и в конечном счете способствует обеспечению выполнения мероприятий, заявленных в Национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» в части выполнения ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство».

**Ключевые слова:** цифровизация, агропромышленный комплекс, управленческие системы, информационно-аналитическая система, концептуальная модель, объектно-ориентированный подход, структурная модель, алгоритмизация, UML 2.0.

## Development of functional algorithms and a conceptual model of an information and analytical system to support the management of the regional agro-industrial complex

Anna V. Linkina<sup>1</sup> [anna\\_linkina@rambler.ru](mailto:anna_linkina@rambler.ru)  0000-002-8429-1292  
Vladislav S. Roshin<sup>1</sup> [conf\\_vivt@bk.ru](mailto:conf_vivt@bk.ru)

<sup>1</sup> Voronezh Institute of High Technologies, Lenina Str., 73A Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** The article discusses the possibilities of using digitalization tools in the organization and optimization of management systems for the regional agro-industrial complex. The main tasks and functions of the designed system are described in terms of constructing optimization models to support decision-making at agricultural enterprises. The structure of the top-level conceptual model of the developed system is presented, which contributes to solving the problems of automating the collection and processing of heterogeneous data and generating reports based on the results of analyzing the obtained values. Based on the use of an object-oriented approach in UML 2.0 notation, a use case diagram was developed to formalize options for user interaction with system modules. The main user categories of the system are identified. The integration of the reporting module, including standard templates approved at the legislative level of the Russian Federation (17 forms for the main indicators of agricultural production), is demonstrated. Step-by-step development of functional algorithms and conceptual model and construction of structural and behavioral models for detailed display of information and logical models of the designed management support decision-making system in the regional agro-industrial complex is carried out. The efficiency of introducing automated integrated tools at enterprises of various scales and levels of production organization is estimated at 53%. The implementation of the system we propose can significantly help in solving the problems of automation and optimization of the existing management structure, and also allows reducing production costs, minimizing the use of labor resources and ultimately helps ensure the implementation of the activities stated in the National Program "Digital Economy of the Russian Federation" in terms of implementation departmental project "Digital Agriculture".

**Keywords:** digitalization, agro-industrial complex, management systems, information and analytical system, conceptual model, object-oriented approach, structural model, algorithmization, UML 2.0.

### Для цитирования

Ликнина А.В., Рошин В.С. Разработка функциональных алгоритмов и концептуальной модели информационно-аналитической системы поддержки управления региональным агропромышленным комплексом // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 115–121. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-115-121

### For citation

Liknina A.V., Roshin V.S. Development of functional algorithms and a conceptual model of an information and analytical system to support the management of the regional agro-industrial complex. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 115–121. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-115-121

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

## **Введение**

В современных условиях степень цифровизации различных областей экономики в нашей стране достаточно разнородна. При этом даже в одной отрасли могут встречаться предприятия с абсолютно разным уровнем модернизации и цифровизации производства. Так, например, в агропромышленной отрасли имеются крупные хозяйства и агрохолдинги, обладающие достаточно высоким уровнем технологической оснащённости и роботизации даже по меркам мировых стандартов. Однако, кроме таких организаций в нашей стране существует значительное количество фермерских хозяйств, которые ограничены в возможности масштабного применения передовых технологий.

Несмотря на это, согласно исследованиям, даже среди небольших фермерских хозяйств интерес к цифровым инструментам достаточно высок и с каждым годом продолжает расти. Подобная тенденция объясняется тем фактом, что новые технологии включают в себя необязательно полную трансформацию производства, но также внедрение элементов системы автоматизации, мониторинга разнообразных показателей, осуществления видео-надзора и контроля, в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов, и даже привычный нам высокоскоростной доступ в Интернет.

С помощью таких инструментов довольно легко и быстро можно снизить расходы на управление и поддержку предприятия, а также издержки производства, за счёт чего увеличивается доход, и, соответственно, чистая прибыль. Отдельные исследования приводят значение до 53% увеличения рентабельности производства при внедрении такого рода систем.

Вместе с тем производственным предприятиям приходится сталкиваться с проблемой увеличения поступления разнородной, неупорядоченной информации к определённым органам управления и непосредственно к руководителям предприятий. Вследствие этого задачи по структуризации получаемых данных, обработке весомой части связанного материала, принятию решений и прогнозированию событий в динамично изменяющихся условиях заметно усложняются. Наличие данных задач в рамках цифровизации сельского хозяйства стимулирует создание и внедрение специализированного информационного обеспечения управления, т.е. систем, связывающих информацию и управленческий процесс, охватывающих как отдельные функции, например сбор, учёт и анализ информации, планирование работ и прогнозирование ситуаций, так и всю управленческую деятельность в целом.

Информационные ресурсы в отрасли сельского хозяйства, как и в любой другой сфере деятельности, неизменно увеличиваются, вследствие этого процесс управления агропромышленным комплексом в современном мире характеризуется необходимостью учитывать обилие разнородных экономических, социальных и прочих факторов, а также высокими требованиями к обоснованию и принятию управленческих решений.

Несмотря на реальную необходимость развития подобных систем остаётся немало сдерживающих факторов. Одна из главных задач, требующих решения для внедрения систем поддержки принятия решений с инструментами интеллектуального анализа, состоит в сложности выявления и подготовки первичных данных, без которых система не сможет функционировать в полном объёме. Для этого необходимо создание и развитие полноценной системы наблюдения, сбора и обработки разнородных данных, которая сможет фиксировать все различные изменения в региональном агропромышленном комплексе, а постепенное внедрение системы может обеспечить сглаживание некоторых конфликтов, связанных с организационными различиями существующей системы управления в сельскохозяйственных предприятиях. Одним из важнейших направлений развития подобных систем поддержки принятия решения является построение информационно-логических моделей для их дальнейшей реализации на физическом уровне. При этом возникает необходимость учёта многих факторов и решения сложных задач синхронизации данных, обусловленных спецификой отрасли агропромышленного производства, такими как территориальная распределённость земельных участков, удалённость структурных подразделений друг от друга и от центрального управления, затраты на их взаимодействие и коммуникации, использование различных программных ресурсов, которые должны обеспечивать единообразие поступающих данных.

## **Материалы и методы**

Объектом исследования в данной работе является разрабатываемая концептуальная модель информационной системы поддержки управления региональным агропромышленным комплексом. Цель ее проектирования заключается в построении логики структурно-функциональной организации системы поддержки принятия решений, а также осуществлении решения задач автоматизации сбора и обработки разнородных данных и формировании отчётов по результатам анализа полученных значений. В дальнейшем она будет использоваться как модель верхнего уровня для построения диаграмм декомпозиции,

отражающих основные элементы разрабатываемой системы. Разработка модели выполнялась на основе объектно-ориентированного метода. При разработке функциональных алгоритмов проводился системный анализ на уровне изучения структуры агропромышленного комплекса, определения основных задач и целей системы поддержки управления. На основе анализа и синтеза проводилась оценка результатов работы модулей, определение их преимуществ и недостатков, а также возможностей для улучшения и оптимизации управления предприятием.

### Результаты и обсуждение

Нами была определена следующая структурно-функциональная организация информационно-аналитической системы для ее последующего проектирования и разработки прототипа:

1. выявление пользователей и функций системы;
2. выделение ролей пользователей;
3. проектирование общих модулей, необходимых для полноценной работы системы;
- 3.1. модули регистрации и авторизации пользователей;
- 3.2. модули взаимодействия с базой данных (добавление/изменение/удаление информации);
- 3.3. модуль формирования отчёта на основе разнородных данных;
3. проектирование базы данных;
4. выбор и определение инструментов реализации;
5. реализация визуального представления системы;

6. реализация спроектированных модулей и базы данных.

При определении функционала системы нами учитывалось, что существующая управленческая система регионального агропромышленного комплекса выстраивается на различных уровнях. В современных условиях она представляет собой комплекс подразделений, отвечающих за различные направления и находящихся в непосредственном управлении административными органами на уровне муниципалитетов (рисунок 1):



Рисунок 1. Структура управления региональным АПК  
Figure 1. Management structure of regional agro-industrial complex

Однако эта система несовершенна и недостатки могут быть найдены на любых из ступеней и звеньев: сегодня в агропромышленном комплексе недостаточно развита вертикальная цепочка управления - государственные органы управления не всегда учитывают интересы аграрных предприятий, недостаточно эффективно наложено горизонтальное взаимодействие.

Тогда общий алгоритм принятия решения (рисунок 2) можно представить следующим образом:

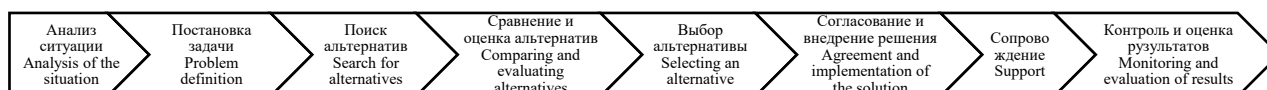


Рисунок 2. Алгоритм принятия решения  
Figure 2. Decision making algorithm

На начальном этапе проектирования информационно-аналитической системы на основе объектно-ориентированного подхода в нотации UML 2.0 была спроектирована диаграмма прецедентов (Use Case), которая позволяет установить сценарий взаимодействия пользователей с программным продуктом (рисунок 3).

Нами было выделено четыре роли пользователей с разным уровнем прав доступа:

Первая группа пользователей - Viewers. К данной группе относятся зарегистрированные

пользователи, имеющие доступ только к просмотру, поиску и сортировке информации.

Ко второй группе (Creators/Editors) относятся пользователи, имеющие доступ не только на просмотр определённой информации, но и на её дополнение и редактирование.

К третьей группе можно отнести пользователя с ролью администрирования - Admins. Права администратора в реализуемой системе заключаются в управлении и поддержании её работоспособности, а также в управлении аккаунтами других пользователей.

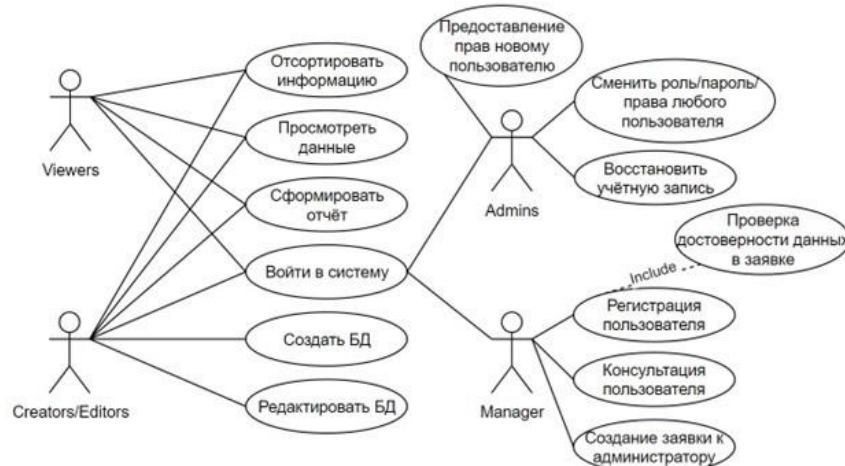


Рисунок 3. Диаграмма Use Case

Figure 3. Use Case diagram

Четвёртая группа пользователей системы – это группа специалистов, которые осуществляют процесс хранения и обработки данных пользователей и предприятий, т. е. рассматривают заявки на регистрацию пользователей, проверяют достоверность данных, а также осуществляют консультирование пользователей по вопросам взаимодействия с системой и решения возможных технических проблем путём формирования заявок к администраторам.

Дальнейшим логичным шагом в проектировании, после определения списка реализуемых функций, является построение конкретных моделей, описывающих реальные алгоритмы взаимодействия пользователей и информационной системы. Для реализации системы необходимо создать модули регистрации, входа и взаимодействия с базами данных. Для создания и наполнения баз данных пользователь должен иметь соответствующие права. При отсутствии необходимых прав пользователь не будет видеть в своей учётной записи возможность создания, наполнения и редактирования. При наличии прав на создание, наполнение и редактирование баз данных необходимо реализовать соответствующие вкладки в профиле пользователя для создания возможности выбора действия.

Модуль наполнения базы данных представлен на рисунке 4.

Еще одним проектируемым нами модулем является модуль формирования отчетности. Было предусмотрено, что в система должна позволять формировать документы, определённые приказом Министерства сельского хозяйства № 132 от 17.03.2021 [2].

Планируемые виды отчётов представлены в таблице 1.

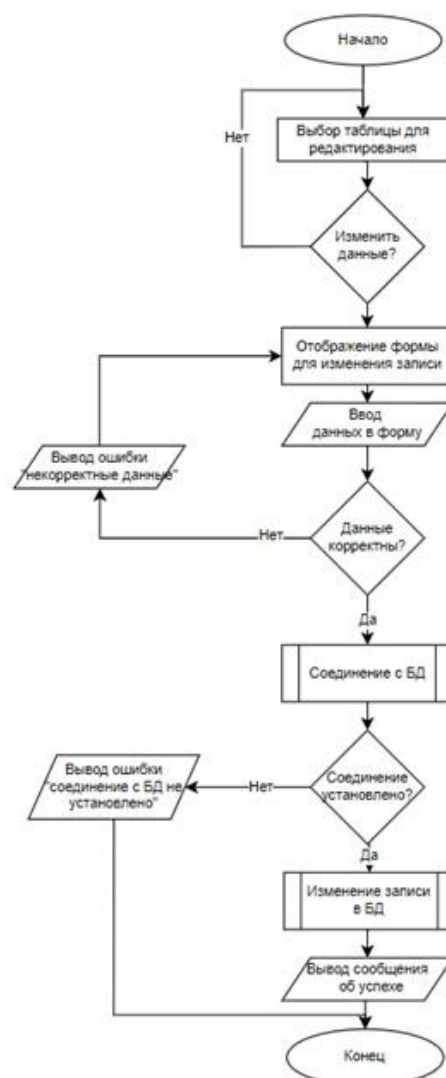


Рисунок 4. Схема работы модуля наполнения БД

Figure 4. Scheme of operation of the database filling module

Таблица 1.

Виды отчётов, формируемые проектируемой системой

Table 1.

Types of reports generated by the designed system

Наименование   Name	Расшифровка   Value
5-АПК	отчет о численности и заработной плате работников;   report on the number and salary of employees;
6-АПК	отчет об отраслевых показателях деятельности;   report on sectoral performance indicators;
7-АПК	отчет об ожидаемых результатах деятельности;   report on expected performance results;
8-АПК	отчет о затратах на основное производство;   report on costs of main production;
9-АПК	отчет о производстве, затратах, себестоимости и реализации продукции растениеводства;   report on production, costs, production value and sales of crop production;
10-АПК	отчет о средствах целевого финансирования;   report on targeted financing;
11-АПК	отчет о производственных мощностях (объектах АПК);   report on production capacities (AIC facilities);
12-АПК	отчет о затратах на выполнение работ и оказание услуг;   a report on the costs of work and services;
13-АПК	отчет о численности и заработной плате работников;   report on the number and salary of employees;
14-АПК	отчет об отраслевых показателях деятельности;   report on sectoral performance indicators;
15-АПК	отчет об ожидаемых результатах деятельности;   report on expected performance results;
16-АПК	отчет о затратах на основное производство;   report on costs of main production;
17-АПК	отчет о производстве, затратах, себестоимости и реализации продукции растениеводства;   report on production, costs, production value and sales of crop production;
1-СПРК	отчет о средствах целевого финансирования;   report on targeted financing;
1-СПР	отчет о производственных мощностях (объектах АПК);   report on production capacities (AIC facilities);
1-КФХ	отчет о затратах на выполнение работ и оказание услуг;   a report on the costs of work and services;
1-ИП	отчет о численности и заработной плате работников;   report on the number and salary of employees;

В разрабатываемой системе права для формирования отчётов имеют пользователи с ролями Viewer и Creator/Editor. В первую очередь для формирования отчёта пользователю необходимо выбрать вид отчёта, т.е. какой шаблон будет заполняться и выводиться системой. После того, как пользователь выбрал вид отчёта, информация об этом событии сохраняется, и система выполняет соединение с БД. Модуль формирования отчёта представлена на рисунке 5.

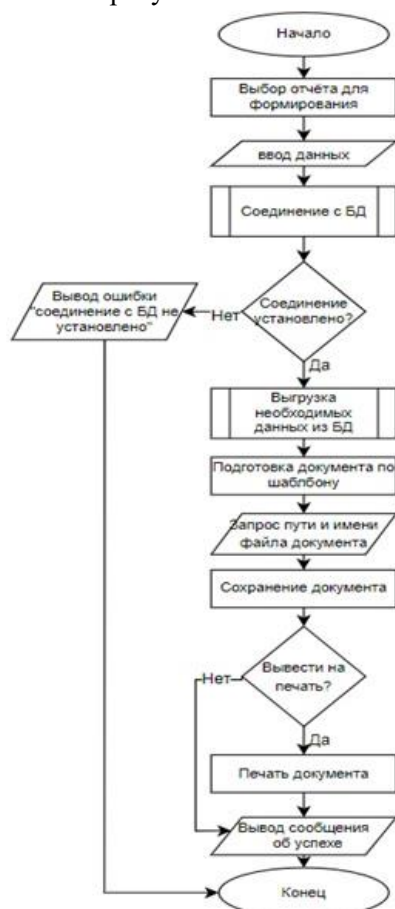


Рисунок 5. Схема работы модуля формирования отчёта  
Figure 5. Scheme of operation of the report generation module

На этом этапе разработка функциональных алгоритмов и информационной модели проектируемой аналитической системы завершается и в дальнейшем выполняется построение структурных и поведенческих моделей системы в нотации UML для детального построения информационной и логической моделей проектируемой системы управления поддержки принятия решений в региональном агропромышленном комплексе.

### Заключение

Таким образом, в данной работе были раскрыты основные этапы построения концептуальной модели разрабатываемой информационно-аналитической системы. В дальнейшем эта работа продолжает выполняться на основе декомпозиции и проектирования различных диаграмм, позволяющих описывать основные элементы будущей вычислительной системы. В целом, можно отметить важность данного этапа для обеспечения цифровой трансформации отечественного сельского хозяйства. Как уже было отмечено нами ранее, вследствие разнородного уровня обеспечения информационно-техническими средствами в отрасли АПК, наблюдается дисбаланс эффективности производства между крупными и мелкими сельхозтоваропроизводителями. Однако, внедрение предложенной нами системы может существенно помочь в решении проблем автоматизации и оптимизации существующей структуры управления, а также позволяет сократить издержки производства, минимизировать использование трудовых ресурсов и в конечном счете способствует обеспечению выполнения мероприятий, заявленных в Национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» в части выполнения ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство».

### Благодарности

Статья публикуется при грантовой поддержке Федерального агентства по делам молодёжи (Росмолодёжь) Соглашение № 091–10–2023–069 от 23.05.2023 г. проект «Наука рядом».

## Литература


- 1 Husemann C., Novković N. Farm management information systems: A case study on a German multinational farm // *Economics of Agriculture*. 2014. № 61(2). P. 441–453. doi:10.5937/ekoPolj1402441H
- 2 Köksal Ö., Tekinerdogan B. Architecture design approach for IoT-based farm management information systems // *Precision Agriculture*. 2019. № 20(1). P. 926–958. doi:10.1007/11119-018-09624-8
- 3 Linkina A., Nedcova E. Ways to preserve soil fertility based on agrolandscape // *Agrofor*. 2016. V. 1. № 2. P. 112–118.
- 4 Linkina A.V., Nedikova E.V Assessment of the state and management of modern agricultural landscapes in the Central Black Earth region // *Proceedings of the VIII Science and Technology Conference “Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geo-ecology of the North Caucasus” (CIGGG 2018)*. 2019. P. 369–373.
- 5 Paraforos D.S., Vassiliadis V., Kortenbruck A., Stamkopoulos K. et al. Multi-level automation of farm management information systems // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017. № 142(1). P. 504–514. doi: 10.1016/j.compag.2017.11.022
- 6 Беликов А.Н., Дегтярев А.А. Определение структурных элементов и разработка системной (графической) нотации для проектирования информационных систем на основе базовой абстракции "Форма для форм" // *Информатизация и связь*. 2021. № 8. С. 24–29.
- 7 Забродин Д.А. Анализ возможностей UML при проектировании информационных систем // *Сборник научных трудов кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления: «Современные технологии хранения, обработки и анализа больших данных»*. 2023. С. 22–25.
- 8 Коновалов В.А. Внедрение инновационных технологий в агропромышленном секторе // *Russian Economic Bulletin*. 2022. Т. 5. № 5. С. 105–109.
- 9 Об утверждении формы отчета о финансово-экономическом состоянии товаропроизводителей агропромышленного комплекса, сельскохозяйственных товаропроизводителей, получателей средств, производителей зерновых культур за 2021 год и сроков его представления: приказ Минсельхоза РФ от 17.03.2021 № 132. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202105120029>
- 10 Самохин В.А. Формирование устойчивого развития сельскохозяйственных предприятий на основе внедрения технологий роботизации // *Вестник Академии знаний*. 2023. № 4 (57). С. 275–278.
- 11 Popova L., Balashova N.Y., Ivanov V., Bocharnikov V. et al. Prospects for the digitalization of regional agro-industrial complex // *Digital Future Economic Growth, Social Adaptation, and Technological Perspectives*. Cham: Springer International Publishing, 2020. P. 687-694. doi: 10.1007/978-3-030-39797-5\_67
- 12 Khudiyakova E.V., Gorbachev M.S., Nifontova E.A. Improving the efficiency of agro-industrial complex management based on digitalization and system approach // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2019. V. 274. №. 1. P. 012079. doi: 10.1088/1755-1315/274/1/012079
- 13 Gorlov I.F., Fedotova G.V., Glushchenko A.V., Slozhenkina M.I. et al. Digital technologies in the development of the agro-industrial complex // *Digital Economy: Complexity and Variety vs. Rationality 9*. Springer International Publishing, 2020. P. 220-229. doi: 10.1007/978-3-030-29586-8\_26
- 14 Botsieva E., Abdulaev S. Digitalization Of The Agro-Industrial Complex: Promising Areas Of Innovative Development // *SHS Web of Conferences*. EDP Sciences, 2023. V. 172. P. 05016. doi: 10.1051/shsconf/202317205016
- 15 Zghurska O., Korchynska O., Rubel K., Kubiv S. et al. Digitalization of the national agroindustrial complex: new challenges, realities and prospects // *Financial & Credit Activity: Problems of Theory & Practice*. 2022. V. 6. №. 47. doi: 10.55643/fcaptp.6.47.2022.3929
- 16 Boev V.U., Ermolenko O.D., Bogdanova R.M., Mironova O.A. et al. Digitalization of agro-industrial complex as a basis for building organizational-economic mechanism of sustainable development: foreign experience and perspectives in Russia // *Institute of Scientific Communications Conference*. Springer International Publishing, 2019. P. 960-968. doi: 10.1007/978-3-030-29586-8\_109
- 17 Poletaev A., Narozhnyaya A., Kitov M. Digitalization of the agro-industrial complex in the Russian Federation: current status and development prospects // *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2020. V. 176. P. 04005. doi: 10.1051/e3sconf/202017604005
- 18 Belikova I.P., Chernobay N.B., Kron R.V., Zhukova V.A. et al. Digitalization in Agriculture - A New Step in the Development of Agro-industrial Complex // *Smart Innovation in Agriculture*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. P. 65-73. doi: 10.1007/978-981-16-7633-8\_8
- 19 Pogonyashev V.A., Torikov V.E., Pogonyasheva D.A., Seraya G.V. et al. Digitalization issues of the agro-industrial complex // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022. V. 979. №. 1. P. 012024. doi: 10.1088/1755-1315/979/1/012024
- 20 Kirillova O.V., Sadreeva A.F., Mukhametshina F.A., Samysheva E.Y. Priority directions for the development of the agrarian economy in the context of the digitalization of the agro-industrial complex // *BIO Web of Conferences*. EDP Sciences, 2021. V. 37. P. 00084. doi: 10.1051/bioconf/20213700084

## References

- 1 Husemann C., Novković N. Farm management information systems: A case study on a German multinational farm. *Economics of Agriculture*. 2014. no. 61(2). pp. 441–453. doi:10.5937/ekoPolj1402441H
- 2 Köksal Ö., Tekinerdogan B. Architecture design approach for IoT-based farm management information systems // *Precision Agriculture*. 2019. no. 20(1). pp. 926–958. doi:10.1007/11119-018-09624-8
- 3 Linkina A., Nedcova E. Ways to preserve soil fertility based on agrolandscape. *Agrofor*. 2016. vol. 1. no. 2. pp. 112–118.
- 4 Linkina A.V., Nedikova E.V Assessment of the state and management of modern agricultural landscapes in the Central Black Earth region. *Proceedings of the VIII Science and Technology Conference “Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geo-ecology of the North Caucasus” (CIGGG 2018)*. 2019. pp. 369–373.

- 5 Paraforos D.S., Vassiliadis V., Kortenbruck A., Stamkopoulos K. et al. Multi-level automation of farm management information systems. Computers and Electronics in Agriculture. 2017. no. 142(1). pp. 504–514. doi: 10.1016/j.compag.2017.11.022
- 6 Belikov A.N., Degtyarev A.A. Definition of structural elements and development of system (graphical) notation for the design of information systems based on the basic abstraction “Form for forms”. Informatization and Communication. 2021. no. 8. pp. 24–29. (in Russian).
- 7 Zabrodin D.A. Analysis of the capabilities of UML in the design of information systems. Collection of scientific papers of the Department of Automated Information Processing and Management Systems: “Modern technologies for storing, processing and analyzing big data.” 2023. pp. 22–25. (in Russian).
- 8 Kononov V.A. Introduction of innovative technologies in the agricultural sector. Russian Economic Bulletin. 2022. vol. 5. no. 5. pp. 105–109. (in Russian).
- 9 On approval of the form of the report on the financial and economic condition of commodity producers in the agro-industrial complex, agricultural commodity producers, recipients of funds, grain producers for 2021 and the timing of its submission: Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated March 17, 2021 no. 132. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202105120029> (in Russian).
- 10 Samokhin V.A. Formation of sustainable development of agricultural enterprises based on the introduction of robotization technologies. Bulletin of the Academy of Knowledge. 2023. no. 4 (57). pp. 275–278. (in Russian).
- 11 Popova L., Balashova N.Y., Ivanov V., Bocharnikov V. et al. Prospects for the digitalization of regional agro-industrial complex. Digital Future Economic Growth, Social Adaptation, and Technological Perspectives. Cham, Springer International Publishing, 2020. pp. 687–694. doi: 10.1007/978-3-030-39797-5\_67
- 12 Khudyakova E.V., Gorbachev M.S., Nifontova E.A. Improving the efficiency of agro-industrial complex management based on digitalization and system approach. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. vol. 274. no. 1. pp. 012079. doi: 10.1088/1755-1315/274/1/012079
- 13 Gorlov I.F., Fedotova G.V., Glushchenko A.V., Slozhenkina M.I. et al. Digital technologies in the development of the agro-industrial complex. Digital Economy: Complexity and Variety vs. Rationality 9. Springer International Publishing, 2020. pp. 220–229. doi: 10.1007/978-3-030-29586-8\_26
- 14 Botsieva E., Abdulaev S. Digitalization Of The Agro-Industrial Complex: Promising Areas Of Innovative Development. SHS Web of Conferences. EDP Sciences, 2023. vol. 172. pp. 05016. doi: 10.1051/shsconf/202317205016
- 15 Zghurska O., Korchynska O., Rubel K., Kubiv S. et al. Digitalization of the national agroindustrial complex: new challenges, realities and prospects. Financial & Credit Activity: Problems of Theory & Practice. 2022. vol. 6. no. 47. doi: 10.55643/fcaptp.6.47.2022.3929
- 16 Boev V.U., Ermolenko O.D., Bogdanova R.M., Mironova O.A. et al. Digitalization of agro-industrial complex as a basis for building organizational-economic mechanism of sustainable development: foreign experience and perspectives in Russia. Institute of Scientific Communications Conference. Springer International Publishing, 2019. pp. 960–968. doi: 10.1007/978-3-030-29586-8\_109
- 17 Poletaev A., Narozhnyaya A., Kitov M. Digitalization of the agro-industrial complex in the Russian Federation: current status and development prospects. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. vol. 176. pp. 04005. doi: 10.1051/e3sconf/202017604005
- 18 Belikova I.P., Chernobay N.B., Kron R.V., Zhukova V.A. et al. Digitalization in Agriculture - A New Step in the Development of Agro-industrial Complex. Smart Innovation in Agriculture. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. pp. 65–73. doi: 10.1007/978-981-16-7633-8\_8
- 19 Pogonyshchev V.A., Torikov V.E., Pogonyshcheva D.A., Seraya G.V. et al. Digitalization issues of the agro-industrial complex. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. vol. 979. no. 1. pp. 012024. doi: 10.1088/1755-1315/979/1/012024
- 20 Kirillova O.V., Sadreeva A.F., Mukhametshina F.A., Samysheva E.Y. Priority directions for the development of the agrarian economy in the context of the digitalization of the agro-industrial complex. BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. vol. 37. pp. 00084. doi: 10.1051/bioconf/20213700084

#### Сведения об авторах

**Анна В. Ликкина** помощник ректора по науке, старший преподаватель, Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия, [anna\\_linkina@rambler.ru](mailto:anna_linkina@rambler.ru)  
 <https://orcid.org/0000-002-8429-1292>

**Владислав С. Рошин** студент, информатика и вычислительная техника, Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия, [conf\\_vivt@bk.ru](mailto:conf_vivt@bk.ru)

#### Вклад авторов


**Анна В. Ликкина** выполнение исследования по теме работы, построение моделей информационной системы, несет ответственность за плагиат

**Владислав С. Рошин** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Anna V. Linkina** rector assistant, senior lecturer, Voronezh Institute of High Technologies, Lenina str., 73a Voronezh, 394043, Russia., [anna\\_linkina@rambler.ru](mailto:anna_linkina@rambler.ru)  
 <https://orcid.org/0000-002-8429-1292>

**Vladislav S. Roshin** student, informatics and computer science, Voronezh Institute of High Technologies, Lenina str., 73a Voronezh, 394043, Russia., [conf\\_vivt@bk.ru](mailto:conf_vivt@bk.ru)

#### Contribution

**Anna V. Linkina** performing research on the topic of work, building information system models, being responsible for plagiarism

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

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/08/2023	После редакции 18/08/2023	Принята в печать 10/09/2023
Received 01/08/2023	Accepted in revised 18/08/2023	Accepted 10/09/2023

## Применение спутниковых навигационных технологий и БАС в интересах управления агропромышленным комплексом


Анна В. Линкина<sup>1</sup> [anna\\_linkina@rambler.ru](mailto:anna_linkina@rambler.ru)  0000-002-8429-1292Евгений И. Осипов<sup>1</sup> [osipovevg@bk.ru](mailto:osipovevg@bk.ru)

<sup>1</sup> Воронежский институт высоких технологий- автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия

**Аннотация.** В статье исследуется вопрос развития отечественного земледелия на основе цифровых решений, таких как навигационные технологии на базе спутниковых систем, обработки данных дистанционного зондирования, применения экспертных и систем поддержки принятия решения, машинного обучения, в том числе распознавания образов и компьютерного зрения, анализа больших данных и предиктивной аналитики. В рамках исследования авторами проводился метаанализ данных применения спутниковых навигационных технологий и беспилотных авиационных систем на основе мирового опыта за ретроспективный период с 2000 по 2023 годы. Приведена оценка экономического эффекта при использовании данного подхода и проанализировано, что продуктивность сельскохозяйственных угодий может быть увеличена на 63-68% при использовании рассматриваемых технологий. Проведен сравнительный анализ уровня внедрения точного земледелия в Российской Федерации и ряде зарубежных стран в разрезе по регионам. Установлено, что несмотря на имеющиеся технологии глобальной спутниковой навигационной системы, доля его относительно низкая. Представлены данные, показывающие количество хозяйств в разрезе субъектов Российской Федерации и площади, обрабатываемой посредством систем точного земледелия и потенциал их расширения. Структурированы основные системы наведения и глобальные системы позиционирования по применению в различных странах, среди которых основными являются отечественная ГЛОНАСС и зарубежные GPS (США), Galileo (Европа), BeiDou COMPAS (Китай), IRNSS (Индия) и ряд других. Классифицированы в соответствии с полученным перечнем возможности применения указанных навигационных систем в агропромышленном комплексе, такие как картирование полей, учет данных дистанционного зондирования, мониторинг урожайности и состояний посевов и т.д. В соответствии со сферой применения сопоставлены технологии/компоненты, применяемые на основе указанных технологий.

**Ключевые слова:** спутниковые системы, агропромышленный комплекс, беспилотные летательные аппараты, геоинформационные системы, дистанционное зондирование, пространственные данные, координатное земледелие, оптические индексы.

## Application of satellite navigation technologies and BAS in the interests of agro-industrial complex management

Anna V. Linkina<sup>1</sup> [anna\\_linkina@rambler.ru](mailto:anna_linkina@rambler.ru)  0000-002-8429-1292Evgeny I. Osipov<sup>1</sup> [osipovevg@bk.ru](mailto:osipovevg@bk.ru)

<sup>1</sup> Voronezh Institute of High Technologies, Lenina Str., 73A Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** The article explores the development of domestic agriculture based on digital solutions, such as navigation technologies based on satellite systems, remote sensing data processing, the use of expert systems and decision support systems, machine learning, including pattern recognition and computer vision, big data analysis and predictive analytics. As part of the study, the authors conducted a meta-analysis of the application of satellite navigation technologies and unmanned aerial systems based on global experience over the retrospective period from 2000 to 2023. An assessment of the economic effect of using this approach is given and it is analyzed that the productivity of agricultural land can be increased by 63-68% using the technologies in question. A comparative analysis of the level of implementation of precision farming in the Russian Federation and a number of foreign countries is carried out by regions. It has been established that, despite the existing technologies of the global satellite navigation system, its share is relatively low. Data are presented showing the number of farms in the context of subjects of the Russian Federation and the area cultivated using precision farming systems and the potential for their expansion. The main guidance systems are structured.

**Keywords:** satellite systems, agro-industrial complex, unmanned aerial vehicles, geoinformation systems, remote sensing, spatial data, coordinate farming, optical indices.

### Введение

В последние годы наблюдается активное внедрение информационных технологий в агропромышленный комплекс. Несмотря на то, что данная отрасль несколько отстает от ряда других направлений экономики в плане внедрения инструментов цифровизации (например, от финтех-

сектора), тем не менее можно отметить значительное развитие применения инновационных решений, основанных на использовании вычислительной техники и систем поддержки принятия решений. Активно внедряются элементы машинного обучения, аналитики данных, в том

Для цитирования

Линкина А.В., Осипов Е.И. Применение спутниковых навигационных технологий и БАС в интересах управления агропромышленным комплексом // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 122–127. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-122-127

For citation

Linkina A.V., Osipov E.I. Application of satellite navigation technologies and BAS in the interests of agro-industrial complex management. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 122–127. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-122-127

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

числе с геопространственной привязкой, дифференцированное и координатное земледелие и др.

Прогрессивные технологии, успешно применяемые мировыми сельхозтоваропроизводителями, создают высокую конкуренцию отечественному агропромышленному рынку. Именно поэтому проблема необходимости реформирования данной отрасли в Российской Федерации, обеспечение продовольственного суверенитета становится крайне актуальной.

Значительное влияние на расширение применение цифрового инструментария в АПК оказала федеральная программа «Развитие цифровой экономики Российской Федерации», а также ряд ведомственных подпрограмм, например, такие как ведомственная программа министерства сельского хозяйства РФ «Цифровое сельское хозяйство». Общий объем финансирования мероприятий 4 193,8 млрд рублей за период 2018–2023 гг. Такие данные свидетельствуют о высокой востребованности со стороны государства формирования новой парадигмы отечественного сельского хозяйства, основанной на современных высокотехнологичных решениях. Очевидно, что создание цифровой инфраструктуры, обеспечение материально-техническими и кадровыми ресурсами, а также использование богатейшего потенциала земельных ресурсов нашей страны способствует технологическому росту агропромышленного сектора, формирует привлекательный инвестиционный потенциал для малого и крупного бизнеса, но и выполняют важнейшую задачу обеспечения продовольственной безопасности государства.

Одним из направлений цифрового инструментария становится развитие точного земледелия, объединяющего в себе навигационные технологии на базе спутниковых систем, обработку данных дистанционного зондирования, применение экспертных и систем поддержки принятия решения, машинное обучение, в том числе распознавание образов и компьютерное зрение, анализ больших данных и предиктивную аналитику. Большую роль в развитии новой парадигмы землеустройства играет и рынок беспилотных авиационных систем, несмотря на ряд трудностей, с которыми столкнулась данная отрасль в связи с современными внешнеполитическими вызовами.

Развитие глобальной навигационной спутниковой системы, средств связи, инфраструктуры и компьютерных решений позволяют перейти в координатном земледелии к учету не только всей площади поля, но и к отдельным

агрофациям, характеризующимися едиными микроклиматическими, почвенными условиями, рельефом и др., что позволяет оптимизировать ресурсы и применять на конкретном участке строго определенные и обоснованные агротехнологические приемы выращивания и обработки конкретной сельскохозяйственной культуры. Такой подход позволяет значительно экономить ресурсы, однако способен повышать продуктивность сельскохозяйственных угодий вплоть до 63–68 %, а что более важно с точки зрения экосистемного подхода – обеспечивать сохранение и восстановление плодородия почв, минимизации влияния на биогеоценозы и повышению устойчивости агроландшафта в целом.

### Материалы и методы

В рамках исследования авторами проводился метаанализ данных применения спутниковых навигационных технологий и беспилотных авиационных систем на основе мирового опыта за ретроспективный период с 2000 по 2023 годы (таблица 1). В данный период применялись технологии второго поколения радионавигационных систем (в частности, Block III в NAVSTAR GPS и Ураган-М / Ураган-К в спутниках системы ГЛОНАСС), основанные на получении высокоточных показателей в условиях повышенной помехозащищенности, обусловленных непрерывностью и сочетанием пространственных и темпоральных характеристик (пространственные координаты – высота, широта, долгота в произвольный момент времени). Полученные результаты были сопоставлены с мировым опытом применения подобных систем.

На основе спутниковых снимков высокого разрешения с учетом различных индексов вегетационной активности (таких как NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True color и ряд других) исследователями определялись состояние почвы, косвенно указывающий на качественный гранулометрический состав, наличие сорной растительности и вредителей сельскохозяйственных культур, а также отслеживалась динамика состояния посевных культур. Это способствует получению значительного массива детальных изображений сельскохозяйственных участков, что позволяет осуществлять оптимизацию системы управления системами земледелия и обуславливает повышение эффективности продуктивности угодий.

### Результаты и обсуждение

Нами были получены следующие результаты, представленные в сводном виде.

Таблица 1.

Метаанализ данных применения спутниковых навигационных технологий и беспилотных авиационных систем на основе мирового опыта  
за ретроспективный период с 2000 по 2023 годы

Table 1.  
Meta-analysis of data on the use of satellite navigation technologies and unmanned aircraft systems based on global experience  
for the retrospective period from 2000 to 2023

Регион Region	Система наведения Guidance system	Глобальная система позиционирования (GPS) / Глобальная спутниковая навигационная система (GNSS) Global Positioning System (GPS) / Global Navigation Satellite System (GNSS)	Сфера применения Scope of application	Технология / Компонент Technology / Component	Доля рынка от общего объема отрасли, % Market share of total industry volume, %
Китай China	BeiDou (COMPAS)	BDS COMPASS	Дистанционное зондирование; Технология переменной скорости Дроны и БПЛА; другие технологии Remote sensing; Variable speed technology Drones and UAVs; other technologies	ДДЗ, удобрение с переменной нормой; переменная норма посева; пестицид переменной нормы; мониторинг урожайности, управление запасами VRS, variable rate fertiliser; variable rate seeding; variable rate pesticide; yield monitoring, stockpile management	34
Япония   Japan	MSAS / QZSS	QZSS	Дистанционное зондирование Remote sensing	Мониторинг почвы, разведка урожая, сопоставление полей Soil monitoring, crop reconnaissance, field matching	30
Индия   India	IRNSS / GAGAN	IRNSS		ДДЗ, мониторинг почвы, разведка урожая, сопоставление полей Soil monitoring, soil monitoring, crop reconnaissance, field matching	14
Австралия Australia	SBAS	GPS	Дистанционное зондирование; Технология переменной скорости; Дроны и БПЛА; другие технологии Remote sensing; Variable speed technology Drones and UAVs; other technologies	ДДЗ, мониторинг почвы, разведка урожая, сопоставление полей, переменная норма посева; пестицид переменной нормы; мониторинг урожайности; управление запасами, системы оптимизации управления сектора SRS, soil monitoring, crop reconnaissance, field comparison, variable rate seeding; variable rate pesticide; yield monitoring; stockpile management, sector management optimisation systems	42
США USA	GPS NAVSTAR / WAAS	WAAS / GPS			80
Канада Canada	CDGPS	GPS	Дистанционное зондирование; другие технологии Remote sensing; other technologies	ДДЗ, мониторинг почвы, разведка урожая, сопоставление полей, переменная норма посева; пестицид переменной нормы; мониторинг урожайности; управление запасами, системы оптимизации управления сектора SRS, soil monitoring, crop reconnaissance, field comparison, variable rate seeding; variable rate pesticide; yield monitoring; stockpile management, sector management optimisation systems	44
Германия Germany	DGPS	TEN GALILEO	Дистанционное зондирование; Технология переменной скорости; другие технологии Remote sensing; Variable speed technology; other technologies		60
Регион Region	DORIS	TEN GALILEO	Дистанционное зондирование Remote sensing		38
Китай China	EGNOS (только европейская территория РФ) / СДКМ + коммерческие Omnistar VBS / RTCM / RTK	ГЛОНАСС / GPS	Дистанционное зондирование; Технология переменной скорости; Дроны и БПЛА; другие технологии Remote sensing; Variable speed technology Drones and UAVs; other technologies		10
Япония   Japan	UK SBAS	TEN GALILEO	Дистанционное зондирование	ДДЗ, мониторинг почвы, разведка урожая VRS, soil monitoring, crop reconnaissance	46
Индия   India	EGNOS / Galileo	TEN GALILEO			37
Австралия Australia	SACCSA	GPS			7
США   USA	AFI	GPS			3

Анализ приведенных в таблице данных показывает, что несмотря на тот факт, что в России, наряду с США, Китаем, Индией и рядом государств Европы, являющихся одной из немногих стран, разработавших и успешно применяющих собственную спутниковую навигационную систему, доля точного земледелия является относительно низкой. Это обусловлено рядом социально-экономических факторов (таких как недостаточный уровень финансирования и инвестиций в инновационную технологическую базу в отрасли агропромышленного сектора, низкий процент квалифицированных специалистов, владеющих базовой подготовкой прецизионного земледелия, отсутствие полной укомплектованности современным механизированным и программным оборудованием для массового перехода к Smart Agriculture- «умному» сельскому хозяйству» и др.).

Вместе с тем действует упоминаемая нами ранее национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», благодаря которой наблюдается активизация процессов цифровой трансформации в отрасли сельского хозяйства. Благодаря этому в последние годы наблюдается увеличение доли агропромышленных предприятий различных форм собственности и размеров, внедряющих у себя как элементы точного земледелия, в основе которого лежит применение спутниковых навигационных систем и программного обеспечения, позволяющего различным образом применять полученные данные и использовать их в интересах управления сектором и оптимизации.

В таблице 2 представлены данные, показывающие количество хозяйств в разрезе субъектов Российской Федерации и площади, обрабатываемой посредством систем точного земледелия.

Таблица 2.

Использование элементов точного земледелия (по количеству хозяйств и посевной площади) по состоянию на 2020 г.

Table 2.

Using precision farming elements (by number of farms and sown area) as of 2020

Субъект Subject	Количество хозяйств, шт. Number of farms, pcs.	Доля посевных площадей, га Share of sown areas, ha
Липецкая область   Lipetsk region	812	367
Орловская область   Orel region	108	365
Самарская область   Samara region	75	354
Курганская область   Kurgan region	55	387
Воронежская область   Voronezh region	54	336
Тюменская область   Tyumen region	54	241
Нижегородская область   Nizhny Novgorod region	50	158
Красноярский край   Krasnoyarsk region	44	124
Красноярский край   Krasnoyarsk region	42	300
Тамбовская область   Tambov region	41	315
Томская область   Tomsk region	37	177
Краснодарский край   Krasnodar region	32	
Оренбургская область   Orenburg region	31	218
Томская область   Tomsk region	31	124
Республика Крым   Republic of Crimea	30	98
Ленинградская область   Leningrad Region	24	31
Тульская область   Tula region	23	143
Республика   Republic	21	192
Башкортостан   Bashkortostan	17	94
Калининградская область   Kaliningrad region	15	72
Пермский край   Perm region	15	35
Рязанская область   Ryazan region	13	71
Курская область   Kursk region	12	110
Амурская область   Amur region	7	10
Республика Адыгея   Republic of Adygea	6	101
Волгоградская область   Volgograd Oblast	6	15
Ивановская область   Ivanovo Region	5	6
Костромская область   Kostroma region	4	13
Смоленская область   Smolensk Oblast	3	35
Республика Коми   Komi Republic	3	15

Анализ приведенных значений свидетельствует, что среди субъектов Российской Федерации, активно применяющих в агропромышленном секторе технологии спутниковой съемки, по числу хозяйств являются Липецкая, Орловская и Самарская области, а по площади обрабатываемых сельхозугодий – Курганская, Орловская, Липецкая области. Однако, аналитики

приводят данные, свидетельствующие о более высоком потенциале роста рынка данных технологий.

Вместе с тем, в условиях санкционного давления и импортозамещения, аналитики отмечают замедление роста данного сегмента рынка. При этом отмечается, что по сравнению с другими направлениями экономики, он все равно пострадает меньше из-за низкого проникновения IT-решений мировых корпораций в данный сектор.

Тем не менее крупные агрохолдинги развивают точное земледелие, а такие комплексные системы управления посевами основаны на использовании данных в том числе американской системы глобального позиционирования GPS, а также платформы GPS-мониторинга IoT Wialon. Отключение GPS и уход из России IoT Wialon негативно скажутся на этом направлении. Именно поэтому перспективными являются разработки, основанные на системе ГЛОНАСС.

### Заключение

В заключение отметим усиление роли спутниковых навигационных технологий и беспилотных авиасистем в интересах управления агропромышленным комплексом как на мировом

рынке, так и в России. Очевидно, что рассмотренные нами технологии позволяют эффективно решать задачи мониторинга земель, прогнозирования состояния сельскохозяйственных угодий, способствуют возможности повышения продуктивности возделываемых культур. Таким образом, использование данных технологий является важным инструментом для оптимизации управления агропромышленным комплексом и обеспечения его устойчивого развития.

### Благодарности

Статья публикуется при грантовой поддержке Федерального агентства по делам молодёжи (Росмолодёжь) Соглашение № 091–10–2023–069 от 23.05.2023 г. проект «Наука рядом».

### Литература

- 1 Chatre E., Benedicto J. 2019 – Galileo Programme Update // *Proceedings of the 32nd international technical meeting of the satellite division of the institute of navigation (ION GNSS+2019)*. 2019. P. 650–698.
- 2 Fernández G., Pericacho J.G., Martínez A., Janicki K. et al. End to end on-line ARAIM real-time experimentation and demonstration with magicARAIM Suite // *Proceedings of the 32nd international technical meeting of the satellite division of the institute of navigation (ION GNSS+2019)*. 2019. P. 2796–2818. doi: 10.33012/2019.16921
- 3 Lavrakas J.W. GNSS Performance Standards: How are They Holding Up? // *Proceedings of the 33rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2020)*. 2020. P. 1261–1267.
- 4 Shannon D., Clay D.E., Sudduth K.A. An Introduction to Precision Agriculture // *Precision Agriculture Basics*. 2018. P. 1–12.
- 5 Абрамов Н.В., Семизоров С.А., Григорьев В.В., Колесников А.В. Результаты практического использования спутниковых навигационных систем в инновационных технологиях АПК // *Современные научно-практические решения в АПК: сборник статей всероссийской научно-практической конференции*. 2017. С. 567–572.
- 6 Дедова М.С., Кириченко А.А., Колточихин Н.Н. Спутниковые системы мониторинга в агропромышленном комплексе для тракторов различных марок // *Информационные технологии, системы и приборы в АПК. АГРОИНФО-2021: материалы 8-й Международной научно-практической конференции; под ред. В.В. Альта*. 2021. С. 248–251.
- 7 Линкина А.В. Математические методы и модели для решения прикладных задач обеспечения геоинформационных систем // *Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей по итогам пятой международной научной конференции*. 2020. С. 234–236.
- 8 Линкина А.В., Богданчиков И.Ю. Информационное обеспечение цифровых технологий в агропромышленном комплексе // *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2021. № 2 (37). С. 25–27.
- 9 Торилов В.Е., Погонишев В.А., Погонишева Д.А., Дорных Г.Е. Состояние цифровой трансформации сельского хозяйства // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 9. С. 6–13.
- 10 Череватова Т.Ф. Информационные потребности в системе управления развитием хозяйствующих субъектов АПК // *Доклады ТСХА. Международная научная конференция, посвященная 175-летию К.А. Тимирязева*. 2019. С. 287–292.
- 11 Шушпанников В.Е., Дзю Е.Л. Применение технологий точного земледелия // *Теория и практика современной аграрной науки: сборник VI национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием*. 2023. С. 610–613.
- 12 Denisova E., Silova V. Need for application of remote sensing technologies for development of agro-industrial complex // *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2021. V. 285. P. 01005. doi: 10.1051/e3sconf/202128501005
- 13 Matvienko E.V., Zolkin A.L., Suchkov D.K., Shichkin I.A. et al. Applying of smart, robotic systems and big data processing in agro-industrial complex // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022. V. 981. №. 3. P. 032002. doi: 10.1088/1755-1315/981/3/032002
- 14 Agost L., Estrabou C., Aiassa D. Use of satellite indicators to monitor the proximity of agro-industrial crops to urban and rural educational establishments over large areas // *Landscape and Urban Planning*. 2022. V. 219. P. 104318.
- 15 Kovalev I.L. Implementation of information and communication technologies based on satellite navigation systems in the agricultural and industrial complex of Belarus: problems and prospects // *Resources and Technology*. 2017. V. 14. №. 2. P. 12–25.
- 16 Gorlov I.F., Fedotova G.V., Glushchenko A.V., Slozhenkina M.I. et al. Digital technologies in the development of the agro-industrial complex // *Digital Economy: Complexity and Variety vs. Rationality 9*. Springer International Publishing, 2020. P. 220–229. doi: 10.1007/978-3-030-29586-8\_26
- 17 Panasyuk M.V., Safiollin F.N., Sultanov V.A., Sabirzyanov A.M. Geoinformation system for monitoring and assessment of agricultural lands condition // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V. 579. №. 1. P. 012147. doi: 10.1088/1755-1315/579/1/012147
- 18 Agost L., Velázquez G.A. Crop proximity index for monitoring of peri-urban land use in agro-industrial crop regions // *Heliyon*. 2020. V. 6. №. 7.
- 19 Kogteva A., Kulik A., Gerasimova N., Shevtsova N. Peculiarities of Digitalization of the Agro-industrial Complex of Belgorod Region as a Spatial Socio-Economic System // *3rd International Conference Spatial Development of Territories (SDT 2020)*. Atlantis Press, 2021. P. 233–238. doi: 10.2991/aebmr.k.210710.039
- 20 Belov A.M., Vorobiova N.S., Denisova A.Y., Kuznetsov A.V. et al. Application of gis technologies and space monitoring in management of samara region agro-industrial complex // *The Editorial board Chair*. 2013. P. 521.

### References

- 1 Chatre E., Benedicto J. 2019 – Galileo Programme Update. Proceedings of the 32nd international technical meeting of the satellite division of the institute of navigation (ION GNSS+2019). 2019. pp. 650–698.
- 2 Fernández G., Pericacho J.G., Martínez A., Janicki K. et al. End to end on-line ARAIM real-time experimentation and demonstration with magicARAIM Suite. Proceedings of the 32nd international technical meeting of the satellite division of the institute of navigation (ION GNSS+2019). 2019. pp. 2796–2818. doi: 10.33012/2019.16921
- 3 Lavrakas J.W. GNSS Performance Standards: How are They Holding Up? Proceedings of the 33rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2020). 2020. pp. 1261-1267.
- 4 Shannon D., Clay D.E., Sudduth K.A. An Introduction to Precision Agriculture. Precision Agriculture Basics. 2018. pp. 1–12.
- 5 Abramov N.V., Semizorov S.A., Grigoriev V.V., Kolesnikov A.V. Results of the practical use of satellite navigation systems in innovative technologies of the agro-industrial complex. Modern scientific and practical solutions in the agro-industrial complex: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference. 2017. pp. 567–572. (in Russian).
- 6 Dedova M.S., Kirichenko A.A., Koltchikhin N.N. Satellite monitoring systems in the agricultural sector for tractors of various brands. Information technologies, systems and devices in the agro-industrial complex. AGROINFO 2021: materials of the 8th International Scientific and Practical Conference; edited by V.V. Alta. 2021, pp. 248–251. (in Russian).
- 7 Linkina A.V. Mathematical methods and models for solving applied problems of providing geographic information systems. Priority directions of innovative activity in industry: a collection of scientific articles based on the results of the fifth international scientific conference. 2020. pp. 234–236. (in Russian).
- 8 Linkina A.V., Bogdanchikov I.Yu. Information support of digital technologies in the agricultural sector. Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. 2021. no. 2 (37). pp. 25–27. (in Russian).
- 9 Torikov V.E., Pogonyshchev V.A., Pogonyshcheva D.A., Dornych G.E. State of digital transformation of agriculture. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2020. no. 9. pp. 6–13. (in Russian).
- 10 Cherevatova T.F. Information needs in the management system for the development of economic entities of the agro-industrial complex. Reports of the TSHA. International scientific conference dedicated to the 175th anniversary of K.A. Timiryazev. 2019. pp. 287–292. (in Russian).
- 11 Shushpannikov V.E., Dzyu E.L. Application of precision farming technologies. Theory and practice of modern agricultural science: collection of the VI national (all-Russian) scientific conference with international participation. 2023. pp. 610–613. (in Russian).
- 12 Denisova E., Silova V. Need for application of remote sensing technologies for development of agro-industrial complex. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. vol. 285. pp. 01005. doi: 10.1051/e3sconf/202128501005
- 13 Matvienko E.V., Zolkin A.L., Suchkov D.K., Shichkin I.A. et al. Applying of smart, robotic systems and big data processing in agro-industrial complex. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. vol. 981. no. 3. pp. 032002. doi: 10.1088/1755-1315/981/3/032002
- 14 Agost L., Estrabou C., Alassa D. Use of satellite indicators to monitor the proximity of agro-industrial crops to urban and rural educational establishments over large areas. Landscape and Urban Planning. 2022. vol. 219. pp. 104318.
- 15 Kovalev I.L. Implementation of information and communication technologies based on satellite navigation systems in the agricultural and industrial complex of Belarus: problems and prospects. Resources and Technology. 2017. vol. 14. no. 2. pp. 12-25.
- 16 Gorlov I.F., Fedotova G.V., Glushchenko A.V., Slozhenkina M.I. et al. Digital technologies in the development of the agro-industrial complex. Digital Economy: Complexity and Variety vs. Rationality 9. Springer International Publishing, 2020. pp. 220-229. doi: 10.1007/978-3-030-29586-8\_26
- 17 Panasyuk M.V., Safiollin F.N., Sultanov V.A., Sabirzyanov A.M. Geoinformation system for monitoring and assessment of agricultural lands condition. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. vol. 579. no. 1. pp. 012147. doi: 10.1088/1755-1315/579/1/012147
- 18 Agost L., Velázquez G.A. Crop proximity index for monitoring of peri-urban land use in agro-industrial crop regions. Heliyon. 2020. vol. 6. no. 7.
- 19 Kogteva A., Kulik A., Gerasimova N., Shevtsova N. Peculiarities of Digitalization of the Agro-industrial Complex of Belgorod Region as a Spatial Socio-Economic System. 3rd International Conference Spatial Development of Territories (SDT 2020). Atlantis Press, 2021. pp. 233-238. doi: 10.2991/aebmr.k.210710.039
- 20 Belov A.M., Vorobiova N.S., Denisova A.Y., Kuznetsov A.V. et al. Application of gis technologies and space monitoring in management of samara region agro-industrial complex. The Editorial board Chair. 2013. pp. 521.

#### Сведения об авторах

**Анна В. Линкина** помощник ректора по науке, старший преподаватель, Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия, anna\_linkina@rambler.ru  
<https://orcid.org/0000-002-8429-1292>

**Евгений И. Осипов** студент, информатика и вычислительная техника, Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия, osipovevg@bk.ru

#### Вклад авторов

**Анна В. Линкина** выполнение исследования по теме работы, построение моделей информационной системы, несет ответственность за плагиат  
**Евгений И. Осипов** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Anna V. Linkina** rector assistant, senior lecturer, Voronezh Institute of High Technologies, Lenina str., 73a Voronezh, 394043, Russia, anna\_linkina@rambler.ru  
<https://orcid.org/0000-002-8429-1292>

**Evgeny I. Osipov** student, informatics and computer science, Voronezh Institute of High Technologies, , Lenina str., 73a Voronezh, 394043, Russia,, osipovevg@bk.ru

#### Contribution


**Anna V. Linkina** performing research on the topic of work, building information system models, being responsible for plagiarism  
**Evgeny I. Osipov** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/10/2023	После редакции 25/10/2023	Принята в печать 12/11/2023
Received 04/10/2023	Accepted in revised 25/10/2023	Accepted 12/11/2023

## Применение машинного обучения при организации адаптивно-ландшафтных систем земледелия


Анна В. Ликнина<sup>1</sup> [anna\\_linkina@rambler.ru](mailto:anna_linkina@rambler.ru)  0000-002-8429-1292

<sup>1</sup> Воронежский институт высоких технологий - автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия

**Аннотация.** Статья исследует возможности применения инструментов искусственного интеллекта при организации эколого-ландшафтных систем земледелия. Отмечается, что с помощью алгоритмов обучения сельхозтоваропроизводители могут оптимизировать многие процессы ведения производства, повысить продуктивность угодий и качество получаемой продукции, а также снизить затраты и себестоимость. Показано, что массовое внедрение машинного обучения способно увеличить долю валовой добавленной стоимости в ближайшие 5 лет на 25% в растениеводстве, и до 14% в животноводстве при оптимистическом сценарном варианте развития, в наиболее вероятном варианте показатели будут в два раза ниже, при пессимистическом - увеличение произойдет не более чем на 3,8% в отрасли растениеводства, и до 0,4% в отрасли животноводства. Поскольку адаптивно-ландшафтное земледелие, базирующееся на учете особенностей рельефа, климата, агрофаций, должно учитывать большое количество параметров, таких как оценка состояния почвы и растений, посевные площади, частота их обработки, количество вносимых минеральных и органических удобрений, обработка гербицидами и инсектицидами и др., был разработан прототип информационной системы, позволяющей на основе предиктивного анализа, подобрать наиболее оптимальное решение для организации севооборотов с целью управления системами земледелия. В статье показана возможность применения компьютерного зрения при распознавании картографического материала и установлении типа агроландшафта для получения высокопродуктивных урожаев. Построены модели интеллектуального анализа на основе входящих признаков. Для работы с предложенным продуктом не предъявляется специализированных требований к квалификации персонала, а даже может быть использовано рядовыми работниками как крупных агрохолдингов, представителями органов муниципальной и государственной власти в области агропромышленного сектора, так и сотрудниками небольших хозяйств за счет простоты и интуитивно понятного интерфейса.

**Ключевые слова:** эколого-ландшафтные системы, продуктивность угодий, плодородие почв, генетические алгоритмы, распознавание образов, API, информационная система.

## Application of machine learning in the organization of adaptive landscape farming systems

Anna V. Linkina<sup>1</sup> [anna\\_linkina@rambler.ru](mailto:anna_linkina@rambler.ru)  0000-002-8429-1292

<sup>1</sup> Voronezh Institute of High Technologies, Lenina Str., 73A Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** The article explores the possibilities of using artificial intelligence tools in organizing ecological landscape farming systems. It is noted that with the help of learning algorithms, agricultural producers can optimize many production processes, increase the productivity of land and the quality of the resulting products, as well as reduce costs and costs. It has been shown that the mass implementation of machine learning can increase the share of gross value added in the next 5 years by 25% in crop production, and up to 14% in livestock production under an optimistic scenario of development; in the most probable scenario, the indicators will be two times lower, and in a pessimistic scenario - an increase will occur by no more than 3.8% in the crop industry, and up to 0.4% in the livestock industry. Since adaptive landscape agriculture, based on taking into account the characteristics of the relief, climate, agrofacies, must take into account a large number of parameters, such as assessment of the condition of the soil and plants, sown areas, frequency of their cultivation, the amount of applied mineral and organic fertilizers, treatment with herbicides and insecticides, etc., a prototype of an information system was developed that allows, based on predictive analysis, to select the most optimal solution for organizing crop rotations in order to manage farming systems. The article shows the possibility of using computer vision in recognizing cartographic material and establishing the type of agricultural landscape to obtain highly productive crops. Intellectual analysis models were built based on incoming features. To work with the proposed product, there are no specialized requirements for personnel qualifications, and can even be used by ordinary employees of both large agricultural holdings, representatives of municipal and state authorities in the agricultural sector, and employees of small farms due to its simplicity and intuitive interface.

**Keywords:** ecological landscape systems, land productivity, soil fertility, genetic algorithms, pattern recognition, API, information system.

Для цитирования

Ликнина А.В. Применение машинного обучения при организации адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 128–132. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-128-132

For citation

Linkina A.V. Application of machine learning in the organization of adaptive landscape farming systems. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 128–132. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-128-132

## Введение

В настоящее время цифровые технологии играют все большую роль во многих сферах жизни. Машинное обучение стало неотъемлемой частью многих отраслей, включая сельское хозяйство. С помощью алгоритмов обучения сельхозтоваропроизводители могут оптимизировать многие процессы ведения производства, повысить продуктивность угодий и качество получаемой продукции, а также снизить затраты и себестоимость. Вместе с тем, на современном этапе развития агропромышленного комплекса в России доля программных продуктов с элементами предиктивной аналитики занимает очень скромные позиции, несмотря на значительные перспективы применения. Анализ имеющихся цифровых решений показывает, что существует ограниченное число компаний, предлагающих подобные разработки, а в условиях необходимости обеспечения технологического суверенитета и необходимости импортозамещения на отечественном рынке существует острая нехватка информационных систем с интеграцией искусственного интеллекта. По оценкам аналитиков, массовое внедрение машинного обучения способно увеличить долю валовой добавленной стоимости в ближайшие 5 лет на 25 % в растениеводстве, и до 14 % в животноводстве. Однако, подобный прогноз является оптимистическим сценарным вариантом развития. В наиболее вероятностном варианте показатели будут в два раза ниже, а при пессимистическом – увеличение произойдет не более чем на 3,8 % в отрасли растениеводства, и до 0,4 % в отрасли животноводства. Такие показатели объясняются тем, что помимо недостаточного предложения на рынке программных средств, сельское хозяйство традиционно считается одной из наиболее консервативных областей в плане внедрения инноваций. Еще одной проблемой является кадровый дефицит работников столь сложной специализации и низкий уровень заработной платы в данном секторе. Именно поэтому разработка интеллектуальных решений и акселерация даже небольших проектов должна получить большую поддержку со стороны государства при реализации политики цифровой трансформации.

Авторами выполнялись исследования, связанные с возможностью применения машинного обучения при организации адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Поскольку в результате все возрастающей антропогенной нагрузки земельные угодья подвергаются различным деградиционным процессам, при этом сохранение и восстановление плодородия почв является основной задачей для обеспечения высокой урожайности

и сохранения биоразнообразия. Подход ведения сельского хозяйства, базирующийся на учете особенностей рельефа, климата, агрофаций, лежащий в основе эколого-ландшафтного земледелия, должен учитывать большое количество параметров, таких как оценка состояния почвы и растений, посевные площади, частота их обработки, количество вносимых минеральных и органических удобрений, обработка гербицидами и инсектицидами и многое другое. С учетом современных возможностей генетических алгоритмов, разработка информационной системы, позволяющей на основе предиктивного анализа, подобрать оптимальное решение для организации севооборотов, является одним из перспективных методов оптимизации управления системами земледелия.

## Материалы и методы

В ходе выполнения проектирования информационной системы была поставлена задача реализации модуля предиктивной аналитики. Для достижения поставленной цели на основе методов системного анализа и математического моделирования, были решены следующие задачи:

1. Проектирование и разработка web-приложения, представляющего собой платформу для интеграции обособленных модулей;
2. Разработка приложения, формирующего наборы данных, для обучения нейросети;
3. Проектирование и разработка прототипа web-сервиса предиктивной аналитики картографических изображений земельных угодий сельскохозяйственного назначения;
4. Графическое представление web – приложения;
5. Проектирование и разработка интеллектуального помощника для обработки типовых вопросов.

Были проанализированы представленные на рынке решения как зарубежных, так и отечественных разработчиков, среди которых ArcGis, MapInfo, ГеоСкан, QGIS и др. В ходе проведенного анализа программных средств были отмечены следующие недостатки:

1. Закрытая архитектура программных продуктов.
2. Не все модули обладают программными интерфейсами.
3. Высокая цена программного продукта.
4. Централизованное распространение программных продуктов.
5. Отсутствие инструментов и готового решения для определения типа агроландшафтов на основе картографического материала.
6. Низкий уровень интеграций технологий компьютерного зрения в существующие модули решения задач на основе картографического материала.

На основе описанных недостатков рассмотренных программных продуктов был сформирован ряд требований к проектируемому программному решению.

Предъявляемые требования к программному модулю анализа типов агроландшафтов:

- возможность определения типов агроландшафта на основе компьютерного зрения;
- наличие API.

Предъявляемые требования к программному модулю для подготовки изображений:

- открытый исходный код;
- наличие API;
- наличие документации;
- формирование наборов данных на основе группы объектов.

На основе описанных требований были сформированы задачи по проектированию и реализации разрабатываемого программного решения.

Задача формирования наборов данных на основе картографического материала агроландшафтов, а также разработка модуля предиктивной аналитики основывалась на разработке следующих элементов:

- Компонент для обработки изображений.
- Компонент для отображения интерфейса.
- Компонент для подготовки данных к обучению нейронной сети.

### Результаты и обсуждение

Иными словами, разрабатываемая система должна уметь оптимизировать загруженный картографический материал, представляющий собой электронный вариант (сканированное изображение конкретного земельного участка обычной бумажной карты или экспортируемое изображение из геоинформационной системы в заданном масштабе) и определять к какому типу агроландшафта можно отнести данный участок, для того, чтобы в дальнейшем подобрать оптимальный вариант севооборота и те культуры, которые целесообразно на нем возделывать, как с точки зрения сохранения плодородия земель, так и с точки зрения получения максимальной продуктивности возделываемой сельскохозяйственной культуры.

Согласно методике, предложенной профессором Лопыревым М.И., агроландшафты можно разделить на 5 основных типов. Для каждого из типов имеются собственные рекомендации по возделываемым сельскохозяйственным культурам. Таким образом, была разработана нейронная сеть, которая с достаточной достоверностью определяла тип агроландшафта конкретного участка, и на основе этого типа сельхозтоваропроизводитель с помощью модуля рекомендательного сервиса имел возможность выбрать оптимальные культуры для выращивания. Для обучения разработанной нами модели, использовались стандартные библиотеки, такие как NumPy, Matplotlib, OpenCV, Tensorflow и ряд других.

Данный механизм преобразует решение, представленное системой, в формат обозначенный протоколом обмена сообщениями. Рассмотрим типовые входные данные и результат, отправленный сервисом (рисунки 1, 2):

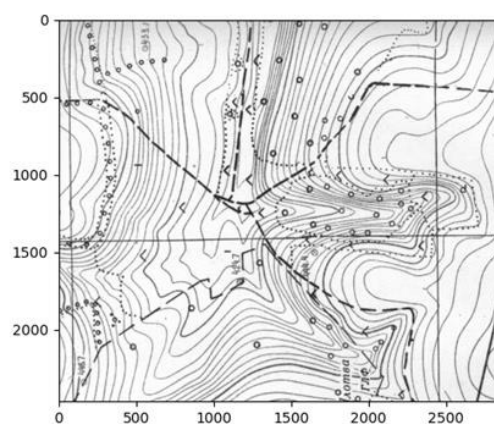


Рисунок 1. Изображение, отправленное пользователем

Figure 1. User Submitted Image

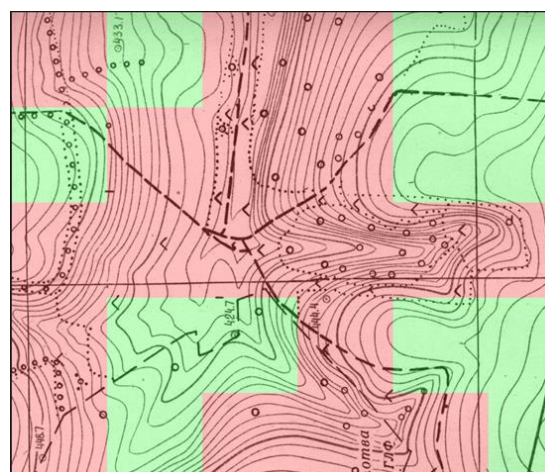


Рисунок 2. Итоговое изображение

Figure 2. Final image

На данном изображении обозначенные области отмечены цветами: зеленый – это тип агроландшафта в общей классификации типов представленный I и II типами, красный – тип агроландшафта представленный III, IV и V типом.

### Заключение

В результате выполнения работы была разработана информационная система с интегрированным модулем распознавания типа агроландшафта и на его основе рекомендаций по подбору оптимального вида и структуры севооборота. Данное программное решение позволяет повысить продуктивность сельскохозяйственных угодий, что способствует увеличению урожайности культур и, в конечном счете, отвечает стратегической задаче обеспечения продовольственной безопасности государства. Очевидно, что для дальнейшей работы с предложенным продуктом не предъявляется специализированных требований к квалификации персонала, а даже

может быть использовано рядовыми работниками как крупных агрохолдингов, представителями органов муниципальной и государственной власти в области агропромышленного сектора, так и сотрудниками небольших хозяйств за счет простоты и интуитивно понятного интерфейса.

## Благодарности

Статья публикуется при грантовой поддержке Федерального агентства по делам молодёжи (Росмолодёжь) Соглашение № 091–10–2023–069 от 23.05.2023 г. проект «Наука рядом».

## Литература


- 1 Husemann C., Novković N. Farm management information systems: A case study on a German multinational farm // *Economics of Agriculture*. 2014. № 61(2). P. 441–453. doi:10.5937/ekoPolj1402441H
- 2 Köksal Ö., Tekinerdogan B. Architecture design approach for IoT-based farm management information systems // *Precision Agriculture*. 2019. № 20(1). P. 926–958. doi: 10.1007/11119–018–09624–8
- 3 Linkina A., Nedicova E. Ways to preserve soil fertility based on agrolandscape // *Agrofor*. 2016. V. 1. № 2. P. 112–118.
- 4 Борисевич М.Н. Применение информационных технологий в сельском хозяйстве (для оценки урожайности культур) // Развитие современных систем земледелия и животноводства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 110-летию Пермского НИИСХ. 2023. С. 16–24.
- 5 Зорин Л.Б., Забурдяев А.В. Применение анализа больших данных в пищевой промышленности // Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах. сборник докладов всероссийской научно-практической конференции. 2023. С. 156–161.
- 6 Кирюшин В.И. Задачи оптимизации землепользования в России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2023. № 116. С. 5–25.
- 7 Лопырев М.И., Линкина А.В. Модернизация систем земледелия на эколого-ландшафтной основе // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. № 3 (34). С. 49–56.
- 8 Оксюта О.В., Кушева И.С., Соколов А.А. Задачи и методы машинного обучения // Новые аспекты моделирования систем и процессов: материалы Международной научно-практической конференции. 2023. С. 115–123.
- 9 Ренгартен Г.А., Коробицын С.Л. Инновационные технологии в земледелии // Инновационное развитие агропромышленного комплекса как фактор конкурентоспособности: проблемы, тенденции, перспективы. 2020. С. 53–63.
- 10 Якушев В.П., Якушев В.В., Блохина С.Ю., Блохин Ю.И. и др. Информационное обеспечение современных систем земледелия в России // Вестник Российской академии наук. 2021. Т. 91. № 8. С. 755–768.
- 11 Sharapova N.V., Sharapova V.M., Sharapov Y.V. Application of information technologies in agriculture. 2021.
- 12 Dudin M.N., Pavlova K.P., Frolova E.E., Samusenko T.M. et al. Information technologies as an incentive for Russian agriculture // *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2018. V. 18. №. 1. P. 143–152.
- 13 Zolkin A.L., Matvienko E.V., Bityutskiy A.S., Shamina, S.V. et al. Introduction of advanced information technologies in agriculture // *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2023. V. 419. P. 03002. doi: 10.1051/e3sconf/202341903002
- 14 Gulyamov S., Saidov M.A., Rasulova M. Digitalization of agriculture in the republic of Uzbekistan // *Theoretical & Applied Science*. 2020. №. 6. P. 742–747.
- 15 Vorotnikov I.L., Ukolova N.V., Monakhov S.V., Shikhanova J.A. et al. Economic aspects of the development of the "Digital agriculture" system // *Scientific papers. Series: management, economic engineering and rural development*. 2020. V. 20. №. 1. P. 633–638.
- 16 Amirova E.F., Gavrilyeva N.K., Grigoriev A.V., Sorgutov I.V. Digitalization in agriculture: problems of implementation // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. V. 13. №. 6. P. 144–155.
- 17 Buklagin D.S. Digital technologies in agricultural management // *International Research Journal*. 2021. V. 2021. №. 2104.
- 18 Akmarov P., Gorbyshina N., Kniazeva O. Special aspects of digital transformation in agriculture sector of economy // *International Scientific and Practical Conference "Digital agriculture-development strategy" (ISPC 2019)*. Atlantis Press, 2019. P. 22–26. doi: 10.2991/ispc-19.2019.6
- 19 Kirillova O.V., Sadreeva A.F., Mukhametshina F.A., Samysheva E.Y. Priority directions for the development of the agrarian economy in the context of the digitalization of the agro-industrial complex // *BIO Web of Conferences*. 2021. V. 37. P. 00084.
- 20 Inshakova A.O., Ryzhenkov A.Y., Pon'ka V.F., Davudov D.A. Current Issues of Agriculture Digitalization in the Russian Federation // *New Technology for Inclusive and Sustainable Growth: Technological Support, Standards and Commercial Turnover*. Singapore: Springer Singapore, 2022. P. 125–135. doi: 10.1007/978-981-16-9808-8\_14

## References

- 1 Husemann C., Novković N. Farm management information systems: A case study on a German multinational farm. *Economics of Agriculture*. 2014. no. 61(2). pp. 441–453. doi:10.5937/ekoPolj1402441H
- 2 Köksal Ö., Tekinerdogan B. Architecture design approach for IoT-based farm management information systems. *Precision Agriculture*. 2019. no. 20(1). pp. 926–958. doi: 10.1007/11119–018–09624–8
- 3 Linkina A., Nedicova E. Ways to preserve soil fertility based on agrolandscape. *Agrofor*. 2016. vol. 1. no. 2. pp. 112–118.
- 4 Borisevich M.N. Application of information technologies in agriculture (for assessing crop yields). Development of modern farming and livestock systems that ensure environmental safety of the environment: materials of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 110th anniversary of the Perm Research Institute of Agriculture. 2023. pp. 16–24. (in Russian).

- 5 Zorin L.B., Zaburdyayev A.V. Application of big data analysis in the food industry. Intelligent automated control systems in biotechnological processes. collection of reports of the All-Russian scientific and practical conference. 2023. pp. 156–161. (in Russian).
- 6 Kiryushin V.I. Problems of optimization of land use in Russia. Bulletin of the Soil Institute named after. V.V. Dokuchaeva. 2023. no. 116. pp. 5–25. (in Russian).
- 7 Lopyrev M.I., Linkina A.V. Modernization of farming systems on an ecological-landscape basis. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2012. no. 3 (34). pp. 49–56. (in Russian).
- 8 Oksyuta O.V., Kushcheva I.S., Sokolov A.A. Tasks and methods of machine learning. New aspects of modeling systems and processes: materials of the International scientific and practical conference. 2023. pp. 115–123. (in Russian).
- 9 Rengarten G.A., Korobitsyn S.L. Innovative technologies in agriculture. Innovative development of the agro-industrial complex as a factor of competitiveness: problems, trends, prospects. 2020. pp. 53–63. (in Russian).
- 10 Yakushev V.P., Yakushev V.V., Blokhina S.Yu., Blokhin Yu.I. et al. Information support of modern agricultural systems in Russia. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2021. vol. 91. no. 8. pp. 755–768. (in Russian).
- 11 Sharapova N.V., Sharapova V.M., Sharapov Y.V. Application of information technologies in agriculture. 2021.
- 12 Dudin M.N., Pavlova K.P., Frolova E.E., Samusenko T.M. et al. Information technologies as an incentive for Russian agriculture. Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development. 2018. vol. 18. no. 1. pp. 143–152.
- 13 Zolkin A.L., Matvienko E.V., Bityutskiy A.S., Shamina, S.V. et al. Introduction of advanced information technologies in agriculture. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2023. vol. 419. pp. 03002. doi: 10.1051/e3sconf/202341903002
- 14 Gulyamov S., Saidov M.A., Rasulova M. Digitalization of agriculture in the republic of Uzbekistan. Theoretical & Applied Science. 2020. no. 6. pp. 742–747.
- 15 Vorotnikov I.L., Ukolova N.V., Monakhov S.V., Shikhanova J.A. et al. Economic aspects of the development of the "Digital agriculture" system. Scientific papers. Series: management, economic engineering and rural development. 2020. vol. 20. no. 1. pp. 633–638.
- 16 Amirova E.F., Gavrilieva N.K., Grigoriev A.V., Sorgutov I.V. Digitalization in agriculture: problems of implementation. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. vol. 13. no. 6. pp. 144–155.
- 17 Buklagin D.S. Digital technologies in agricultural management. International Research Journal. 2021. vol. 2021. no. 2104.
- 18 Akmarov P., Gorbysheva N., Kniazeva O. Special aspects of digital transformation in agriculture sector of economy. International Scientific and Practical Conference "Digital agriculture-development strategy" (ISPC 2019). Atlantis Press, 2019. pp. 22–26. doi: 10.2991/ispc-19.2019.6
- 19 Kirillova O.V., Sadreeva A.F., Mukhametshina F.A., Samysheva E.Y. Priority directions for the development of the agrarian economy in the context of the digitalization of the agro-industrial complex. BIO Web of Conferences. 2021. vol. 37. pp. 00084.
- 20 Inshakova A.O., Ryzhenkov A.Y., Pon'ka V.F., Davudov D.A. Current Issues of Agriculture Digitalization in the Russian Federation. New Technology for Inclusive and Sustainable Growth: Technological Support, Standards and Commercial Turnover. Singapore: Springer Singapore, 2022. pp. 125–135. doi: 10.1007/978-981-16-9808-8\_14

**Сведения об авторах**

**Анна В. Ликина** помощник ректора по науке, старший преподаватель, Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия, anna\_linkina@rambler.ru  
 <https://orcid.org/0000-002-8429-1292>


**Вклад авторов**

**Анна В. Ликина** выполнение исследования по теме работы, построение моделей информационной системы, несет ответственность за плагиат

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Information about authors**

**Anna V. Linkina** rector assistant, senior lecturer, Voronezh Institute of High Technologies, Lenina str., 73a Voronezh, 394043, Russia, anna\_linkina@rambler.ru  
 <https://orcid.org/0000-002-8429-1292>

**Contribution**


**Anna V. Linkina** performing research on the topic of work, building information system models, being responsible for plagiarism

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

<b>Поступила</b> 10/10/2023	<b>После редакции</b> 03/11/2023	<b>Принята в печать</b> 20/11/2023
<b>Received</b> 10/10/2023	<b>Accepted in revised</b> 03/11/2023	<b>Accepted</b> 20/11/2023

## Использование моделей машинного обучения при решении задач в отрасли органического сельского хозяйства

Анна В. Ликнина<sup>1</sup> [anna\\_linkina@rambler.ru](mailto:anna_linkina@rambler.ru)  0000-002-8429-1292  
Вячеслав Д. Елсуков<sup>1</sup> [elsukov.vyacheslav@gmail.com](mailto:elsukov.vyacheslav@gmail.com)  
Алексей А. Тришин<sup>1</sup> [trishin.aoff@mail.ru](mailto:trishin.aoff@mail.ru)

<sup>1</sup> Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Россия

**Аннотация.** В статье отмечается активный экономический рост в отрасли органического сельского хозяйства за последние 5 лет. Вместе с тем указывается, что внедрение элементов искусственного интеллекта способствует его более эффективному развитию. Наряду с широким потенциалом экологического земледелия указывается возможность формирования предиктивных моделей для подбора оптимальных участков под данный вид производства при использовании моделей машинного обучения. В ходе исследования на основе методов оптимизации были построены модели обучения нейронной сети с учителем (модели множественной линейной регрессии, метод k-средних, модели деревьев решений, метод случайного леса и ряд других). Под метриками качества оценки полученных моделей принимались коэффициент детерминации R<sup>2</sup> (т. е. доля дисперсии зависимой переменной, объясняемой входящими в модель признаками); точность модели (для моделей классификации) и альтернативную метрику оценки F1 (Accuracy и F1 Score). В моделях анализировались зависимость использования земель в органическом земледелии от типа агроландшафта; агрохимических показателей почвы (прежде всего наличие радионуклидов, тяжелых металлов и остаточных количеств гербицидов/инсектицидов в почве); удаленность от производственных агрокомплексов, скотомогильников, ТБО; учитывались показатели изотерм и изобар и т.п. В качестве программного решения использовалась среда Jupyter Notebook и облачная среда Google Colab, а также стандартные библиотеки Pandas, NumPy, Scikit-learn, SciPy, Tensorflow, Matplotlib и другие. Построены обучающая и тестовая модели на основе множественной модели линейной регрессии в соотношении 70 к 30. В качестве целевой (зависимой) переменной выбрали возможность организации органического сельского хозяйства на конкретном земельном участке. Полученная модель позволяла оценить важность признаков для определения зависимости целевой переменной от входящих, а также дать прогноз по возможности перехода конкретного земельного участка на стандарт ведения органического земледелия. Таким образом нами были оценены 114 земельных участков площадью от 23 до 189 га на территории 13 муниципальных районов Воронежской области (Лискинский, Острогожский, Богучарский, Грибановский, Верхнехавский, Калачеевский, Панинский, Верхнеамонский, Новоусманский, Бутурлиновский, Таловский, Эртильский, Бобровский). Установлено, что пригодными для первичной оценки по стандарту органического производства из них являлись 34 участка без дополнительных условий, еще 27 – с учетом периода конверсии в течение 3 лет. Остальные участки не являлись пригодными для целей ведения органического земледелия.

**Ключевые слова:** органическое земледелие, машинное обучение, модели множественной линейной регрессии, агроландшафт, продуктивность угодий, урожайность, средства защиты растений, агрохимические показатели.

## The use of machine learning models in solving problems in the field of organic agriculture

Anna V. Linkina<sup>1</sup> [anna\\_linkina@rambler.ru](mailto:anna_linkina@rambler.ru)  0000-002-8429-1292  
Vyacheslav D. Elsukov<sup>1</sup> [elsukov.vyacheslav@gmail.com](mailto:elsukov.vyacheslav@gmail.com)  
Alexey A. Trishin [trishin.aoff@mail.ru](mailto:trishin.aoff@mail.ru)

<sup>1</sup> Voronezh Institute of High Technologies, Lenina Str., 73A Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** The article notes the active economic growth in the field of organic agriculture over the past 5 years. At the same time, the introduction of elements of artificial intelligence contributes to its more effective development. power with broad potential for ecological farming, development of the ability to form predictive models for selecting optimal sites for a given type of production using machine learning models. During the study, based on optimization methods, supervised neural network training models were built (set linear regression models, k-means method, computational model, random forest method and others). Under the quality metrics, the measured models are taken by the coefficient of determination R<sup>2</sup> (i.e., the proportion of the variance of the dependent variable explained by the currents included in the model); model accuracy (for classifying models) and an alternative F1 score metric (accuracy and F1 score). The models analyzed the dependence of land use in organic farming such as an agricultural landscape; agrochemical soil conditions (primarily the presence of radionuclides, confirmed metals and herbicide/insecticide residues in the soil); remoteness from industrial agricultural complexes, cattle burial grounds, solid waste; indicators of isotherms and isobars, etc. were taken into account. The software solutions used were the Jupyter Notebook environment and the Google Colab cloud environment, as well as the standard libraries Pandas, NumPy, Scikit-learn, SciPy, Tensorflow, Matplotlib and others. Training and testing models were built based on a multiple linear regression model in a block of 70 to 30. The possibility of organizing organic agriculture on a specific land plot is turned off as a switching (dependent) variable. The resulting radius model evaluates the criteria for determining the dependence of a variable on an input one, and also gives a forecast of the possibility of transitioning a land plot to standard methods of organic farming..

**Keywords:** organic farming, machine learning, multiple linear regression models, agricultural landscape, land productivity, yield, plant protection products, agrochemical indicators..

### Для цитирования

Линкина А.В., Елсуков В.Д., Тришин А.А. Использование моделей машинного обучения при решении задач в отрасли органического сельского хозяйства // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 133–138. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-133-138

### For citation

Linkina A.V., Elsukov V.D., Trishin A.A. The use of machine learning models in solving problems in the field of organic agriculture. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 133–138. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-133-138

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

## Введение

В последние годы органическое сельское хозяйство динамично развивается во многих странах мира. Российская Федерация не является исключением. В 2020 году вступил в силу Федеральный закон № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ», который регламентирует разные аспекты, касающиеся производства, переработки, хранения, логистики, маркировки и продажи органической сельскохозяйственной продукции. Кроме того, в настоящее время действует несколько национальных стандартов производства органической продукции. На современном этапе развития агропромышленного комплекса увеличивается рост антропогенной нагрузки на земельные ресурсы. Поэтому необходимым условием проектирования ландшафтных систем земледелия является сбалансированность компонентов агроландшафтов и их стабильное функционирование. Ранее в Российской Федерации действовала Федеральная целевая программа «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России». Одними из важнейших целевых индикаторов программы являлись такие показатели как сокращение выбытия земель из сельскохозяйственного оборота, защита земель от эрозии, введение в оборот загрязненных в результате Чернобыльской катастрофы земель.

Частично за период деятельности данной программы удалось реализовать поставленные цели. Однако состояние агроландшафтов в Российской Федерации в целом и в Центральном Черноземье, в частности, вызывает опасения. Бесконтрольное и часто необоснованное применение гербицидов и инсектицидов, несоблюдение агротехники и агротехнологий приводят к развитию деграционных процессов, сокращают содержание гумуса. Хозяйственная деятельность человека на больших территориях делает невозможным производство органической продукции.

В настоящее время в Российской Федерации действует ряд нормативно-правовых документов, касающихся национальных целей и приоритетов развития государства.

Принята Стратегия научно-технического развития, где были определены так называемые «Большие вызовы».

В связи с этим одним из приоритетных направлений на ближайшую и долгосрочную перспективу является «переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработку и внедрение систем рационального применения средств химической

и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания».

Рынок органических продуктов – один из самых динамично развивающийся в мире. С 2000 по 2017 год он вырос более чем в пять раз (с 18 до 97 миллиардов долларов).

По прогнозам экспертов рынок продолжит свой рост со скоростью 15–16% в год и достигнет в 2025 г. порядка 230 млрд. долларов. Планируется, что к 2025 году объем рынка органических продуктов может составить от 3 до 5% от мирового рынка сельхозпродукции.

Всего в мире сертифицировано более 2,9 млн. производителей (43 млн га). В России на февраль 2023 года – всего 152 предприятия прошли сертификацию на соответствие стандарту, определенному в 280 – ФЗ производимой сельскохозяйственной продукции.

Концепция трансформации цифровизации и задачи, поставленные в рамках Национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», определяют необходимость создания глобальной конкурентоспособной цифровой инфраструктуры, трансформацию сервисов и услуг, оказываемых с использованием современных технологий. Все большую популярность приобретают технологии искусственного интеллекта в различных отраслях народного хозяйства. Сектор производства органической продукции не является исключением. Ограниченность возможности применения различных технологий обработки и защиты культур обуславливают необходимость применения других разнообразных методов оптимизации производства с целью повышения эффективности производства. Среди таких методов – применение моделей машинного обучения для построения предиктивных моделей с целью формирования системы управления и поддержки принятия решения в экологическом сельском хозяйстве.

## Материалы и методы

В ходе исследования на основе методов оптимизации были построены модели обучения нейронной сети с учителем (модели множественной линейной регрессии, метод k-средних, модели деревьев решений, метод случайного леса и ряд других). Под метриками качества оценки полученных моделей принимались коэффициент детерминации  $R^2$  (т. е. доля дисперсии зависимой переменной, объясняемой входящими в модель признаками); точность модели (для моделей классификации) и альтернативную метрику

оценка F1 (Accuracy и F1 Score). В моделях анализировались зависимость использования земель в органическом земледелии от типа агроландшафта; агрохимических показателей почвы (прежде всего наличие радионуклидов, тяжелых металлов и остаточных количеств гербицидов / инсектицидов в почве); удаленность от производственных агрокомплексов, скотомогильников, ТБО; учитывались показатели изотерм и изобар и т. п. В качестве программного решения использовалась среда Jupyter Notebook и облачная среда Google Colab, а также стандартные библиотеки Pandas, NumPy, Scikit-learn, SciPy, Tensorflow, Matplotlib и другие.

### Результаты и обсуждение

Для организации органического земледелия по действующему законодательству необходимо соблюдение требований к качеству угодий. Межгосударственный стандарт ГОСТ 33980–2016 (введен в действие с 12.10.2021 Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии) определяет также переходный период (период конверсии) т. е. период перехода к органическому способу ведения хозяйства за определенный промежуток времени, в ходе

которого применяются требования, установленные для органического производства. Таким образом нами оценивалась возможность перевода определенных земель сельскохозяйственного назначения под органическое производство. В качестве оцениваемых участков нами были выбраны сельскохозяйственные предприятия в 13 муниципальных районах Воронежской области. Данный выбор обусловлен имеющимися документами на сертификацию производства, либо заявкой на вступление в конверсию.

Построены обучающая и тестовая модели на основе множественной модели линейной регрессии в соотношении 70 к 30. В качестве целевой (зависимой) переменной выбрали возможность организации органического сельского хозяйства на конкретном земельном участке. Уравнение множественной линейной модели в общем виде имеет следующее выражение:

$$Y = x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (1),$$

где Y-целевая переменная по параметрам x, которым назначены входные веса.

В нашем случае исследовалась целевая переменная от следующих параметров (таблица 1):

Таблица 1.

Зависимость целевой переменной от входящих параметров

Table 1.

Dependence of the target variable on the input parameters

№	Соответствие земельного участка стандарта ГОСТ 33980–2016 Compliance of the land plot with GOST 33980-2016 standard	Номер земельного участка (ID) Land plot number (ID)	Наличие потенциальных загрязнителей территории Presence of potential pollutants of the territory	Использование запрещенных в органическом производстве средств и веществ в течение последних трех лет Use of means and substances prohibited in organic production during the last three years	N, общий по массе% N, total by mass %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Мг/100 г	K <sub>2</sub> O Мг/100 г	<sup>90</sup> Sr в А <sub>пах</sub> , Бк/кг	<sup>137</sup> Cs в А <sub>пах</sub> , Бк/кг
	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
1	да	1	0	-	0,4	13	7	15,5	3,4
2	да	2	0	-	0,2	11	8	15,7	3,8
3	да	3	0	-	0,5	15	9	14,9	3,8
4	нет	4	3	флорасулам	1,4	24	7	32,2	3,7
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
113	да	113	1	-	0,3	12	5	13,9	4,1
114	да	114	0	-	0,4	13	4	12,7	4,4

Фрагмент листинга кода с учетом наличия пустых ячеек представлен на рисунке 1.,

фрагмент листинга кода обучающей выборки представлен на рисунке 2.

```

RangeIndex: 768 entries, 0 to 767
Data columns (total 9 columns):
 #   Column  Non-Null Count  Dtype 
---  -
 0   X1      768 non-null    float64
 1   X2      768 non-null    float64
 2   X3      768 non-null    float64
 3   X4      768 non-null    float64
 4   X5      768 non-null    float64
 5   X6      768 non-null    float64
 6   X7      768 non-null    float64
 7   X8      768 non-null    float64
 8   Y       768 non-null    float64
dtypes: float64(9)
memory usage: 34.1 KB

```

```

# задание прогнозируем зависимость ототвечает s=1)

```

```

X.head() #Выводим с целой переменной, можно

```

```

      X1      X2      X3      X4      X5      X6      X7      X8      Y
0  514.5  294.0  110.25  7.0    2  0.0    0  15.55
1  514.5  294.0  110.25  7.0    3  0.0    0  15.55
2  514.5  294.0  110.25  7.0    4  0.0    0  15.55

```

Рисунок 1. Фрагмент листинга кода.

Figure 1. Fragment of the code sheet.

```

# указываем зависимость переменной
y = X["Y"]

[ ] X.sample(10, random_state=123) #Посмотрим на 10 случайно выбранных записей из обучающего набора

```

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Y
236	0.62	806.5	367.5	220.50	3.5	2	0.10	4	12.85
395	0.86	566.0	294.0	147.00	7.0	5	0.25	3	29.07
36	0.66	759.5	318.5	220.50	3.5	2	0.00	0	7.18
210	0.79	637.0	343.0	147.00	7.0	4	0.10	4	35.45
483	0.98	514.5	294.0	110.25	7.0	5	0.25	5	26.61
743	0.76	661.5	416.5	122.50	7.0	5	0.40	5	39.86
408	0.74	686.0	245.0	220.50	3.5	2	0.25	3	11.80
468	0.66	759.5	318.5	220.50	3.5	2	0.25	4	12.95
283	0.64	784.0	343.0	220.50	3.5	5	0.10	5	15.36
167	0.76	661.5	416.5	122.50	7.0	5	0.10	3	33.24

```

[ ] X.describe().T #Посмотрим на статистические параметры загруженных данных для обучения

```

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
--	-------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Рисунок 2. Фрагмент листинга кода обучающей выборки

Figure 2. Fragment of the training sample code list

Полученная модель позволяла оценить важность признаков для определения зависимости целевой переменной от входящих, а также дать прогноз по возможности перехода конкретного земельного участка на стандарт ведения органического земледелия.

Таким образом нами были оценены 114 земельных участков площадью от 23 до 189 га на территории 13 муниципальных районов Воронежской области (Лискинский, Острогожский, Богучарский, Грибановский, Верхнехавский, Калачеевский, Панинский, Верхнемамонский, Новоусманский, Бутурлиновский, Таловский, Эртильский, Бобровский). Установлено, что пригодными для первичной оценки по стандарту органического производства из них являлись 34 участка без дополнительных условий, еще 27 – с учетом периода конверсии в течение 3 лет. Остальные участки не являлись пригодными

для целей ведения органического земледелия. Основными причинами, препятствующими такому способу организации земледелия, являлись наличие рядом с исследуемыми земельными участками или на их территории потенциально загрязняющих производств (птицефабрика, склад ГСМ на землях сельхозназначения, скотомогильник), использование удобрений и средств защиты растений из списка, не входящего в перечень допустимых препаратов. По показателям NPK, содержащихся в пахотном горизонте, значения не оказывали существенного влияния на целевой признак. Значения содержания радионуклидов также были выявлены всего в 0,8% случаев от всего объема исследуемых участков.

## Закключение

Возможность использования моделей машинного обучения представляет важный инструмент для широкой целевой группы: сельхозтоваропроизводителей (органическая продукция; органическая продукция для детского питания; эколого-ландшафтное земледелие); исполнительные органы государственной власти в сфере сельского хозяйства (федерального, регионального и муниципального уровней); сертификаторы органической продукции; научные учреждения разной подведомственности (Минсельхоз, Минобрнауки и др.); иные заинтересованные лица указанного научного направления. Перечислены элементы цифровой экосистемы, основанная на инновационных технологиях, в т. ч. машинном обучении, использовании датасетов и анализе данных и т. п., позволяющие оперативно управлять различной информацией и обеспечивать конкурентные преимущества агропромышленного комплекса в целом, и рынка органической продукции в частности. Это отвечает как Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации в части перехода к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству, так и Стратегии развития Воронежской области до 2035 года в части развития агропромышленного комплекса и органического земледелия в частности, что имеет важное социально-экономическое значение для региона.

## Благодарности

Статья публикуется при грантовой поддержке Федерального агентства по делам молодёжи (Росмолодёжь) Соглашение № 091–10–2023–069 от 23.05.2023 г. проект «Наука рядом».

## Литература


- 1 Fu R., Ren X., Li Y., Wu Y. et al. Machine Learning-Based UAV Assisted Agricultural Information Security Architecture and Intrusion Detection // IEEE Internet of Things Journal. 2023.
- 2 Kumar A., Saha S., Layek J., Babu S. et al. Organic farming in Indian Himalayan Region: Innovations for sustainability // Indian Journal of Agronomy. 2023. № 68. P. 36–51.
- 3 Депресова А.Е., Амирова Э.Ф., Кириллова О.В. Интеллектуальные системы для решения комплексных задач в АПК-секторе // Развитие АПК и сельских территорий в условиях модернизации экономики. 2023. С. 93-99.
- 4 Кулагина В.И., Рязанов С.С., Сунгатуллина Л.М., Хайруллина А.М. и др. Оценка пригодности почв для органического земледелия // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 4 (24). С. 19–25. doi: 10.24411/2411-7374-2020-10030
- 5 Свидетельство о регистрации базы данных № 2023624054, RU. Набор данных для машинного обучения анализа картографических изображений / Линкина А.В. № 2023623663; Заявл. 01.11.2023; Оpubл. 20.11.2023.
- 6 Линкина А.В. Современные вызовы цифровой трансформации АПК в контексте стратегии социально-экономического развития Воронежской области на период до 2035 года // Современные проблемы экономики и менеджмента: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 30 летию со дня основания АНО ВО Воронежского института высоких технологий. 2022. С. 236–239.
- 7 Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. Эффективность органического земледелия // Плодородие. 2020. №. 5 (116). С. 56–60. doi:10.25680/S19948603.2020.116.16
- 8 Новосельцева Н.Г. Инновационные технологии органического земледелия // Инновационная наука. 2016. № 5–1 (17). С. 152–153.
- 9 Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Использование влаги культурами севооборотов и их продуктивность при применении удобрений на серых лесных почвах Верхневолжья // Владимирский земледелец. 2019. № 1 (87). С. 4–11. doi:10.24411/2225-2584-2019-10046
- 10 Viana C.M., Santos M., Freire D., Abrantes P. et al. Evaluation of the factors explaining the use of agricultural land: A machine learning and model-agnostic approach // Ecological Indicators. 2021. V. 131. P. 108200.
- 11 Sakhaee A., Gebauer A., Ließ M., Don A. Spatial prediction of organic carbon in German agricultural topsoil using machine learning algorithms // Soil. 2022. V. 8. №. 2. P. 587-604. doi:10.5194/soil-8-587-2022
- 12 Kaya F., Keshavarzi A., Francaviglia R., Kaplan G. et al. Assessing machine learning-based prediction under different agricultural practices for digital mapping of soil organic carbon and available phosphorus // Agriculture. 2022. V. 12. №. 7. P. 1062.
- 13 Burdett H., Wellen C. Statistical and machine learning methods for crop yield prediction in the context of precision agriculture // Precision Agriculture. 2022. V. 23. №. 5. P. 1553-1574.
- 14 Stetter C., Mennig P., Sauer J. Using machine learning to identify heterogeneous impacts of agri-environment schemes in the eu: a case study // European Review of Agricultural Economics. 2022. V. 49. №. 4. P. 723-759.
- 15 Solaiman S., Salaheen S. Future of organic farming: bringing technological marvels to the field // Safety and practice for organic food. Academic Press, 2019. P. 291-303.
- 16 Lacoste M., Minasny B., McBratney A., Michot D. et al. High resolution 3D mapping of soil organic carbon in a heterogeneous agricultural landscape // Geoderma. 2014. V. 213. P. 296-311.
- 17 Giannarakis G., Sitokonstantinou V., Lorilla R.S., Kontoes C. et al. Towards assessing agricultural land suitability with causal machine learning // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2022. P. 1442-1452.
- 18 Demir S., Dedeoğlu M., Başayığit L. Yield prediction models of organic oil rose farming with agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) images and machine learning algorithms // Remote Sensing Applications: Society and Environment. 2024. V. 33. P. 101131.
- 19 Taghizadeh-Mehrjardi R., Nabiollahi K., Rasoli L., Kerry R. et al. Land suitability assessment and agricultural production sustainability using machine learning models // Agronomy. 2020. V. 10. №. 4. P. 573. doi: 10.3390/agronomy10040573
- 20 Møller A.B., Mulder V.L., Heuvelink G.B., Jacobsen N.M. et al. Can we use machine learning for agricultural land suitability assessment? // Agronomy. 2021. V. 11. №. 4. P. 703. doi: 10.3390/agronomy11040703

## References

- 1 Fu R., Ren X., Li Y., Wu Y. et al. Machine Learning-Based UAV Assisted Agricultural Information Security Architecture and Intrusion Detection. IEEE Internet of Things Journal. 2023.
- 2 Kumar A., Saha S., Layek J., Babu S. et al. Organic farming in Indian Himalayan Region: Innovations for sustainability. Indian Journal of Agronomy. 2023. no. 68. pp. 36–51.
- 3 Depresova A.E., Amirova E.F., Kirillova O.V. Intelligent systems for solving complex problems in the agro-industrial sector. Development of the agro-industrial complex and rural territories in the context of economic modernization. 2023. pp. 93-99. (in Russian).
- 4 Kulagina V.I., Ryazanov S.S., Sungatullina L.M., Khairullina A.M. et al. Assessment of soil suitability for organic farming. Russian Journal of Applied Ecology. 2020. no. 4 (24). pp. 19–25. doi: 10.24411/2411-7374-2020-10030 (in Russian).
- 5 Linkina A.V. Data set for machine learning analysis of cartographic images. Database registration certificate RF, no. 2023624054, 2023.
- 6 Linkina A.V. Modern challenges of digital transformation of the agro-industrial complex in the context of the strategy of socio-economic development of the Voronezh region for the period until 2035. Modern problems of economics and management: materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 30th anniversary of the founding of the Voronezh Institute of High Technologies. 2022. pp. 236–239. (in Russian).

- 7 Merzlaya G.E., Afanasyev R.A. Efficiency of organic farming. *Fertility*. 2020. no. 5 (116). pp. 56–60. doi:10.25680/S19948603.2020.116.16 (in Russian).
- 8 Novoseltseva N.G. Innovative technologies of organic farming. *Innovative science*. 2016. no. 5–1 (17). pp. 152–153. (in Russian).
- 9 Okorkov V.V., Fenova O.A., Okorkova L.A. The use of moisture by crop rotation crops and their productivity when applying fertilizers on gray forest soils of the Upper Volga region. *Vladimir Farmer*. 2019. no. 1 (87). pp. 4–11. doi:10.24411/2225–2584–2019–10046 (in Russian).
- 10 Viana C.M., Santos M., Freire D., Abrantes P. et al. Evaluation of the factors explaining the use of agricultural land: A machine learning and model-agnostic approach. *Ecological Indicators*. 2021. vol. 131. pp. 108200.
- 11 Sakhae A., Gebauer A., Ließ M., Don A. Spatial prediction of organic carbon in German agricultural topsoil using machine learning algorithms. *Soil*. 2022. vol. 8. no. 2. pp. 587–604. doi:10.5194/soil-8-587-2022
- 12 Kaya F., Keshavarzi A., Francaviglia R., Kaplan G. et al. Assessing machine learning-based prediction under different agricultural practices for digital mapping of soil organic carbon and available phosphorus. *Agriculture*. 2022. vol. 12. no. 7. pp. 1062.
- 13 Burdett H., Wellen C. Statistical and machine learning methods for crop yield prediction in the context of precision agriculture. *Precision Agriculture*. 2022. vol. 23. no. 5. pp. 1553–1574.
- 14 Stetter C., Mennig P., Sauer J. Using machine learning to identify heterogeneous impacts of agri-environment schemes in the eu: a case study. *European Review of Agricultural Economics*. 2022. vol. 49. no. 4. pp. 723–759.
- 15 Solaiman S., Salaheen S. Future of organic farming: bringing technological marvels to the field. *Safety and practice for organic food*. Academic Press, 2019. pp. 291–303.
- 16 Lacoste M., Minasny B., McBratney A., Michot D. et al. High resolution 3D mapping of soil organic carbon in a heterogeneous agricultural landscape. *Geoderma*. 2014. vol. 213. pp. 296–311.
- 17 Giannarakis G., Sitokonstantinou V., Lorilla R.S., Kontoes C. et al. Towards assessing agricultural land suitability with causal machine learning. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2022. pp. 1442–1452.
- 18 Demir S., Dedeoğlu M., Başayığit L. Yield prediction models of organic oil rose farming with agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) images and machine learning algorithms. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2024. vol. 33. pp. 101131.
- 19 Taghizadeh-Mehrjardi R., Nabiollahi K., Rasoli L., Kerry R. et al. Land suitability assessment and agricultural production sustainability using machine learning models. *Agronomy*. 2020. vol. 10. no. 4. pp. 573. doi: 10.3390/agronomy10040573
- 20 Möller A.B., Mulder V.L., Heuvelink G.B., Jacobsen N.M. et al. Can we use machine learning for agricultural land suitability assessment? *Agronomy*. 2021. vol. 11. no. 4. pp. 703. doi: 10.3390/agronomy11040703

#### Сведения об авторах

**Анна В. Ликина** помощник ректора по науке, старший преподаватель, Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, Россия, anna\_linkina@rambler.ru  
 <https://orcid.org/0000-002-8429-1292>

**Вячеслав Д. Елсуков** магистр, информатика и вычислительная техника», Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, Россия, elsukov.vyacheslav@gmail.com

**Алексей А. Тришин** магистр, информатика и вычислительная техника», Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, Россия, trishin.aoff@mail.ru

#### Вклад авторов

**Анна В. Ликина** выполнение исследования по теме работы, построение моделей информационной системы, несет ответственность за плагиат


**Вячеслав Д. Елсуков** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

**Алексей А. Тришин** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Anna V. Linkina** rector assistant, senior lecturer, Voronezh Institute of High Technologies, Lenina str., 73a Voronezh, 394043, Russia, anna\_linkina@rambler.ru  
 <https://orcid.org/0000-002-8429-1292>

**Vyacheslav D. Elsukov** master student, informatics and computer science, Voronezh Institute of High Technologies, Lenina str., 73a Voronezh, 394043, Russia, elsukov.vyacheslav@gmail.com

**Alexey A. Trishin** master student, informatics and computer science, Voronezh Institute of High Technologies, Lenina str., 73a Voronezh, 394043, Russia, trishin.aoff@mail.ru

#### Contribution

**Anna V. Linkina** performing research on the topic of work, building information system models, being responsible for plagiarism

**Vyacheslav D. Elsukov** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations






**Alexey A. Trishin**, master's student review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 30/09/2023	После редакции 14/10/2023	Принята в печать 16/11/2023
Received 30/09/2023	Accepted in revised 14/10/2023	Accepted 16/11/2023

## Исследование фазовых равновесий в водно-солевых системах, содержащих компоненты молочной сыворотки






Светлана Е. Плотникова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:burkovasweta@ya.ru">burkovasweta@ya.ru</a>	 0000-0002-6331-554x
Елена М. Горбунова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:lobanova8686@gmail.com">lobanova8686@gmail.com</a>	 0000-0002-3550-0115
Сабухи И. Нифталиев	<sup>1</sup>	<a href="mailto:niftaliev@mail.com">niftaliev@mail.com</a>	 0000-0001-7887-3061
Лилия В. Бочарова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:hcn_chr@mail.ru">hcn_chr@mail.ru</a>	 0009-0006-9266-2651
Анастасия М. Лучко	<sup>1</sup>	<a href="mailto:am.luchko@mail.ru">am.luchko@mail.ru</a>	 0009-0009-5197-4765

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

**Аннотация.** В настоящее время экологичным и перспективным является использование молочной сыворотки для получения лактозы, лактулозы и других ценных продуктов, полезных для здоровья человека. Однако сыворотка содержит достаточно большое количество минеральных солей, что затрудняет процессы переработки. В процессе деминерализации широко применяются нанофильтрационные, катионо- и анионообменные мембраны и др., которые загрязняются образующимися кристаллами солей. Наименее растворимыми из неорганических веществ, присутствующих в сыворотке являются соли кальция, в связи с этим представляет интерес трехкомпонентная система  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  -  $\text{CaCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$ . Диаграмма состояния системы  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  -  $\text{CaCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  при температуре 20 °C содержит информацию о фазовых равновесиях. По точкам, отвечающим составу равновесных жидких фаз, построена линия моновариантного равновесия, под которой находится область ненасыщенных растворов. Методом Скрейнмакера установлено, что в области, прилегающей к стороне  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  кристаллизуется моногидрат дигидрофосфата кальция. Для области, примыкающей к вершине  $\text{CaCl}_2$ , происходит совместная кристаллизация трех солей:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  +  $\text{CaCl}_2$  +  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . На треугольнике составов присутствуют две области совместного существования раствора и кристаллов  $\text{L}$  +  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  +  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  и  $\text{L}$  +  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  +  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Состав кристаллизующихся твердых фаз подтвержден химическим анализом. Используя полученные данные можно создать условия для предварительной кристаллизации солей, входящих в состав молочной сыворотки, и выделение их из раствора, что уменьшит забивание пор мембран в дальнейшем процессе деминерализации сыворотки.

**Ключевые слова:** молочная сыворотка, деминерализация, диаграмма состояния, получение лактозы, получение лактулозы.

## Research of phase equilibria in water-salt systems containing whey components

Svetlana E. Plotnikova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:burkovasweta@ya.ru">burkovasweta@ya.ru</a>	 0000-0002-6331-554x
Elena M. Gorbunova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:lobanova8686@gmail.com">lobanova8686@gmail.com</a>	 0000-0002-3550-0115
Sabukhi I. Niftaliev	<sup>1</sup>	<a href="mailto:niftaliev@mail.com">niftaliev@mail.com</a>	 0000-0001-7887-3061
Liliya V. Bocharova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:hcn_chr@mail.ru">hcn_chr@mail.ru</a>	 0009-0006-9266-2651
Anastasiya M. Luchko	<sup>1</sup>	<a href="mailto:am.luchko@mail.ru">am.luchko@mail.ru</a>	 0009-0009-5197-4765

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

**Abstract.** Currently, it is environmentally friendly and promising to use whey to produce lactose, lactulose and other valuable products that are beneficial to human health. However, the serum contains a sufficiently large amount of mineral salts, which complicates the recycling processes. In the process of demineralization, nanofiltration, cation- and anion-exchange membranes, etc., are widely used, which are polluted by the salt crystals formed. The least soluble of the inorganic substances present in the serum are calcium salts, in this regard, the three-component system  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  -  $\text{CaCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  is of interest. To study phase equilibria in the  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  -  $\text{CaCl}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$  system a diagram of the state at a temperature of 20 °C is constructed. According to the points corresponding to the composition of the equilibrium liquid phases, a monovariant equilibrium line is constructed, under which there is a region of unsaturated solutions. By the method of Screinemakers, it was found that in an area with a calcium chloride content of less than 43%, calcium dihydrogen phosphate monohydrate crystallizes. For the area adjacent to the top of  $\text{CaCl}_2$ , three salts crystallize together:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  +  $\text{CaCl}_2$  +  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . On the triangle of compositions there are two areas of joint existence of the solution and crystals of  $\text{L}$  +  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  +  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  and  $\text{L}$  +  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  +  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . The composition of crystallizing solid phases has been confirmed by chemical analysis. Using the obtained data, it is possible to create conditions for the preliminary crystallization of the salts that make up the whey and their isolation from the solution, which will reduce the clogging of the pores of the membranes in the further process of serum demineralization.

**Keywords:** whey, demineralization, state diagram, lactose production, lactulose production.

### Для цитирования

Плотникова С.Е., Горбунова Е.М., Нифталиев С.И., Бочарова Л.В., Лучко А.М. Исследование фазовых равновесий в водно-солевых системах, содержащих компоненты молочной сыворотки // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 139–144. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-139-144

### For citation

Plotnikova S.E., Gorbunova E.M., Niftaliev S.I., Bocharova L.V., Luchko A.M. Research of phase equilibria in water-salt systems containing whey components. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 139–144. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-139-144

## Введение

Сыворотка является ценнейшим пищевым продуктом, включающим все необходимые организму аминокислоты, минеральные вещества, витамины, лактозу. Сыворотка содержит более 200 полезных для человека ингредиентов [1]. Включение данного продукта в рацион способствует регулированию функции желудочно-кишечного тракта, улучшает процесс обмена веществ, подавляет аппетит, ускоряет метаболизм и сохраняет мышечную массу при похудении. Кроме того молочная сыворотка улучшает кровообращение, укрепляет стенки кровеносных сосудов и нормализует артериальное давление. Сыворотка способствует выработке глутатиона – антиоксиданта, положительно воздействует на состояние кожных покровов и укрепляет волосяные луковицы. Таким образом, продукты из молочной сыворотки являются важными и принятыми для диетического и лечебного питания [2, 3]. Однако сыворотка содержит достаточно большое количество минеральных солей, что затрудняет использование ее как пищевого продукта и сырья для производства. Поэтому деминерализация молочной сыворотки является актуальной проблемой в настоящее время [4].

В промышленности для деминерализации сыворотки используют 2 основных способа: электродиализная и нанофильтрационная обработка сыворотки [5].

Обессоливание сыворотки методом электродиализа является широко применяемым способом очистки от минеральных солей [6]. Максимальный уровень деминерализации сыворотки при электродиализе может достигать 90%. Получаемая в результате сыворотка имеет высокие органолептические свойства и широкий спектр применения. Однако электродиализная обработка предполагает предварительное проведение сепарирования сыворотки для ее очистки от жира, казеиновой пыли и коагулированных белков, так

как в процессе электродиализа они оседают на поверхности мембран, затрудняя их работу.

Одним из перспективных и современных методов является нанофильтрация [7, 8, 9]. Процесс нанофильтрации занимает по размеру пор мембран промежуточное место между ультрафильтрацией и обратным осмосом. Нанофильтрационные мембраны пропускают воду с растворенными в ней одновалентными минеральными веществами и задерживают основные компоненты сыворотки (лактозу, белок и др). Все мембранные методы, включая нанофильтрацию, требуют предварительной очистки сыворотки от жира и взвешенных частиц. Однако при проведении нанофильтрации возникают проблемы загрязнения пор мембран образующимися кристаллами солей [7].

В состав сыворотки входят следующие элементы, представленные в таблице 1.

Таблица 1.  
Содержание основных зольных элементов в составе сыворотки

Table 1.  
The content of the main ash elements in the composition of the serum

Элемент   Element	Содержание, %   Content, %
Калий   Potassium	0,09–0,19
Магний   Magnesium	0,009–0,02
Кальций   Calcium	0,04–0,11
Натрий   Sodium	0,03–0,05
Фосфор   Phosphorus	0,04–0,10
Хлор   Chlorine	0,08–0,11

Минеральные вещества в составе сыворотки представлены в виде солей органических и неорганических кислот. Количественное содержание анионов (5,831 г/л) и катионов (3,323 г/л) в молочной сыворотке аналогично содержанию микроэлементов в цельном молоке [10]. Катионы сыворотки представлены К, Na, Ca, Mg, а анионы – радикалами фосфорной, лимонной и соляной кислот. Соотношение форм производных фосфорной кислоты в воде в зависимости от pH представлено в таблице 2.

Таблица 2.  
Соотношение форм производных фосфорной кислоты в воде в зависимости от pH (% молей)

Ratio of forms of phosphoric acid derivatives in water depending on pH (% moles)

Форма	Form	pH							
		5	6	7	8	8,5	9	10	11
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,1	0,01	-	-	-	-	-	-
	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	97,99	83,67	33,90	4,88	1,6	0,51	0,05	-
	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,91	16,32	66,10	95,12	98,38	99,45	99,59	99,53
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-	-	-	-	0,01	0,04	0,36	3,47

Поскольку сыворотка имеет pH среды около 5, то можно предположить, что фосфор находится в молочной сыворотке преимущественно в виде дигидрофосфат-иона [10].

Ионы кальция практически не проходят нанофильтрационную мембрану, что объясняется достаточно большим радиусом в гидратированном состоянии [11]. Кроме того, соли калия и натрия хорошо растворимы, кристаллизации

будут подвергаться, в первую очередь, соли кальция. Что определило объект нашего исследования – трехкомпонентную систему хлорид кальция-дигидрофосфат кальция-вода.

### Материалы и методы

Для построения фазовой диаграммы трехкомпонентной системы  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ – $\text{CaCl}_2$ – $\text{H}_2\text{O}$  при заданной температуре методом Скрейнемакенса были изучены смеси компонентов на концентрационном треугольнике Гиббса–Розебома [12, 13]. 3 сечения с различным соотношением дигидрофосфата кальция и воды 5:95 (I сечение); 10:90 (II сечение); 15:85 (III сечение) представлены на рисунке 1.

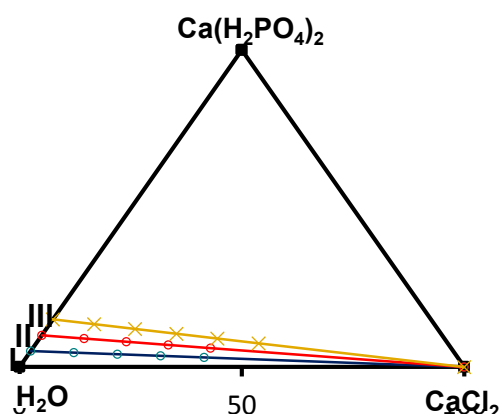


Рисунок 1. Положение разрезов в системе  $\text{CaCl}_2$  –  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  –  $\text{H}_2\text{O}$

Figure 1. The position of the cuts in the  $\text{CaCl}_2$  –  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  –  $\text{H}_2\text{O}$  system

Рассчитывали массы навесок и готовили смеси трех компонентов [14]. Растворы термостатировали в течение 2 суток при температуре 20 °С в электрическом суховоздушном термостате ТСО-1/80 СПУ для установления равновесия, аналитическими методами определяли составы раствора и твердой фазы, полученных из исходной смеси. Для каждой точки сечения брали пробу жидкой и кристаллической фазы, взвешивали, растворяли в мерной колбе на 50 см<sup>3</sup>

и определяли концентрацию ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  и ионов фосфорной кислоты.

Все используемые реактивы имеют классификацию х.ч.

Содержание  $\text{Ca}^{2+}$  в пробах определяли титрованием в присутствии аммиачного буферного раствора (рН = 9,5) с эриохромом черным Т раствором ЭДТА с молярной концентрацией эквивалента 0,01 моль/дм<sup>3</sup> [14]. Содержание  $\text{Cl}^-$  определяли argentометрическим методом с индикатором хроматом калия (применяли раствор нитрата серебра с молярной концентрацией эквивалента 0,01 моль/дм<sup>3</sup>).

Определение фосфора проводили фотометрическим методом с ванадато-молибдатофосфатом [15]. Для проведения анализа применяли реактив, состоящий из смеси растворов А и Б. Раствор А: 2,5 г ванадата аммония растворяли в 500 мл слабокипящей воде, после охлаждения добавляли 20 мл конц.  $\text{HNO}_3$  и разбавляли до 1000 мл. Раствор Б: 100г молибдата аммония растворяли в 500 мл воды при 50° С. Раствор охлаждали, смешивали с 100 мл конц.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , вновь охлаждали и разбавляли до 1000 мл. К раствору пробы добавляли 10 мл раствора В и при помешивании 10 мл смеси реактивов А и Б, разбавляли водой до 50 мл. Через 5 мин проводили измерение поглощения при 400 нм в кювете 30 мм относительно дистиллированной воды на КФК-2МП. Концентрацию ионов фосфорной кислоты определяли по градуировочному графику (зависимость концентрации от оптической плотности).

Содержание дигидрофосфата кальция определяли по данным фотометрического анализа. Содержание хлорида кальция рассчитывали как среднее арифметическое результатов титриметрического анализа ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и ионов  $\text{Cl}^-$  (относительная погрешность не превышала 5%).

### Результаты и обсуждения

Результаты анализа для некоторых точек представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Состав исходной смеси компонентов, равновесной жидкой и твердой фаз

Table 3.

The composition of the initial mixture of components, equilibrium liquid and solid phase

Массовые доли в исходной смеси, % Mass fraction in the initial mixture, %			Фаза Phase	Масса пробы для анализа, г Sample weight for analysis, g	Объем ЭДТА, см <sup>3</sup> Volume of EDTA, cm <sup>3</sup>	Объем $\text{AgNO}_3$ , см <sup>3</sup> Volume of $\text{AgNO}_3$ , cm <sup>3</sup>	Оптическая плотность Optical density	Массовая доля компонентов, % Mass fraction of components, %		
$\text{CaCl}_2$	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	$\text{H}_2\text{O}$						$\text{CaCl}_2$	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	$\text{H}_2\text{O}$
10	4,5	85,5	ж	0,4810	5,2	9,0	0,441	10,1	4,3	5,6
10	4,5	85,5	т	0,0419	0,8	0,7	0,181	9,5	10,9	9,7
20	4	76	ж	0,4038	8,1	16,5	0,335	22,0	3,5	4,5
20	4	76	т	0,0947	3,0	3,0	0,366	17,6	17,1	5,4
10	9	81	ж	0,3698	4,5	7,0	0,557	10,3	7,6	2,1
10	9	81	т	0,0288	2,5	0,1	0,771	1,6	72,1	6,3
20	8	72	ж	0,4445	9,0	16,5	0,535	20,2	6,0	3,8
20	8	72	т	0,0856	2,3	3,0	0,527	18,4	15,3	6,2

По полученным данным строили ноды – линии, соединяющие точки исходной смеси компонентов, жидкой и твердой фазы (рисунок 2).

Три точки одной ноды должны лежать на одной прямой. Положение фигуративной точки твердой фазы на диаграмме растворимости определяется пересечением двух или нескольких лучей.

Состав жидких насыщенных фаз образует линию моновариантного равновесия. Области под линией отвечает жидкая фаза L. В области над линией образуются гетерогенные фазы, содержащие насыщенный раствор и кристаллы. Ноды направлены к точке, отвечающей составу 92,86% дигидрофосфата кальция, 7,14% воды. Это моногидрат дигидрофосфата кальция, устойчивый при данной температуре [16].

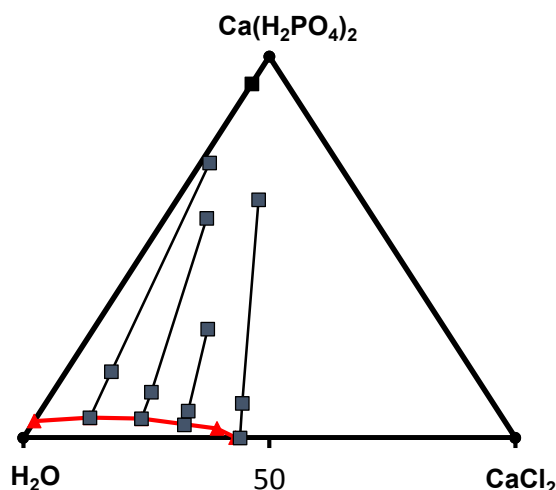


Рисунок 2. Расположение нод в системе  $\text{CaCl}_2 - \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 - \text{H}_2\text{O}$  при 20 °С

Figure 2. Location of nodes in the  $\text{CaCl}_2 - \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 - \text{H}_2\text{O}$  system at a temperature of 20 °С

В соответствии с расположением нод представлено изображение изотермы системы  $\text{CaCl}_2 - \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 - \text{H}_2\text{O}$  при 20 °С (рисунок 3). Известно [17], что при 20 °С хлористый кальций кристаллизуется из водных растворов в виде гексагидрата  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , а дигидрофосфат кальция в виде моногидрата  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , соответствующие точки нанесены на стороны треугольника составов. На изотерме имеется поле ненасыщенных растворов L, поле кристаллизации моногидрата дигидрофосфата кальция  $S_1$  ( $L + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), две области совместного существования раствора и кристаллов  $S_2$  ( $L + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ) и  $S_3$  ( $L + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), трехфазная область совместного существования кристаллов трех солей  $S_4$  ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCl}_2 + \text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), в которой отсутствует жидкая фаза.

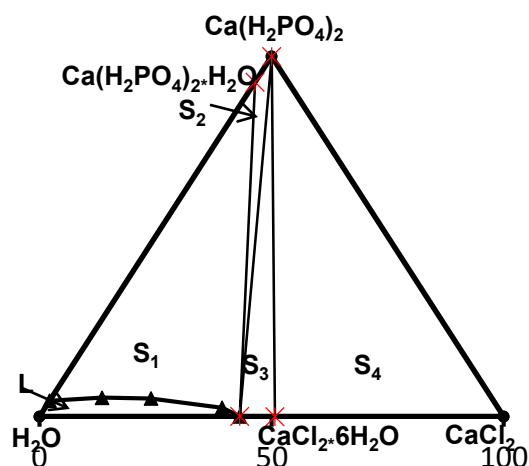


Рисунок 3. Диаграмма состояния системы  $\text{CaCl}_2 - \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 - \text{H}_2\text{O}$  при 20 °С

Figure 3. Diagram of the state of the  $\text{CaCl}_2 - \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 - \text{H}_2\text{O}$  system at a temperature of 20 °С

На диаграмме должно существовать поле кристаллизации гексагидрата хлорида кальция, но в связи с тем, что эта область находится между точкой состава кристаллогидрата (50,7%  $\text{CaCl}_2$ , 49,3%  $\text{H}_2\text{O}$ ) и точкой, отвечающей растворимости хлорида кальция (56,9%  $\text{CaCl}_2$ , 43,1%  $\text{H}_2\text{O}$ ), она мала и определить ее экспериментально сложно.

### Заключение

Использование молочной сыворотки как ценного пищевого продукта и сырья для получения диетического и лечебного питания осложняется присутствием в сыворотке большого количества минеральных солей. В процессе деминерализации широко применяются ионообменные мембраны и др., которые часто загрязняются образующимися кристаллами солей. Наименее растворимыми из неорганических веществ, присутствующих в сыворотке являются соли кальция, в связи с этим представляет интерес трехкомпонентная система хлорид кальция-дигидрофосфат кальция-вода.

В результате полученных экспериментальных данных построена диаграмма состояния трехкомпонентной системы  $\text{CaCl}_2 - \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 - \text{H}_2\text{O}$  при 20 °С и предложен состав кристаллизующихся твердых фаз, подтвержденный химическим анализом.

Используя полученные данные, можно создать условия для предварительной кристаллизации солей, входящих в состав молочной сыворотки, и выделение их из раствора, что уменьшит забивание пор мембран в дальнейшем процессе деминерализации сыворотки.

## Литература

- 1 Семенова А.А. Пищевая и биологическая ценность молочной сыворотки // Актуальные исследования. 2023. № 1 (131). С. 10–12. URL: <https://apni.ru/article/5312-pishchevaya-i-biologicheskaya-tsennost-moloch>
- 2 Белякова Т.Н., Печуркина. Д.С. Функциональные продукты как тренд XXI века // Молочная промышленность. 2020. № 2. С. 46–47.
- 3 Рыбалова Т.И. Молочная индустрия России в 2018 г. // Молочная промышленность. 2019. № 1. С. 4–9.
- 4 Короткий И.А., Плотников И.Б., Мазеева И.А. Современные тенденции в переработке молочной сыворотки // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 2. С. 227–234.
- 5 Сенкевич Т., Ридель К.–Л. Молочная сыворотка, переработка и использование в агропромышленном комплексе. М.: Агропромиздат, 2020. 269 с.
- 6 Золотарева М.С., Володин Д.Н., Бессонов А.С. Электродиализ – наиболее эффективный процесс деминерализации молочной сыворотки // Молочная промышленность. 2014. № 3. С. 37–38.
- 7 Тимкин В.А., Новопашин Л.А. Производство концентрата молочной сыворотки баромембранными методами // Научно-технический вестник технические системы в АПК. 2019. № 3(3). С. 91–98.
- 8 Roman A., Wang J., Csanadi J., Partial demineralization and concentration of acid whey by nanofiltration combined with diafiltration // Desalination. 2009. V. 241. P. 288–295.
- 9 Пат. № 2617940, RU, B01D9/00, B01D61/02, A23C21/00, A23C7/04, A23C1/14. Способ переработки молочной сыворотки / Куленко В.Г., Шевчук В.Б., Славорова Е.В., Дыкало Н.Я., Фиалкова Е.А.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО "Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина". Заявл. 18.03.2015; Оpubл. 28.04.2017.
- 10 Храмов А.Г. Новации молочной сыворотки. Санкт-Петербург: Профессия, 2016. 424 с.
- 11 Первов А.Г., Ефремов Р.В., Рудакова Г.Я. Прогноз показателей работы нанофильтрационных мембран и выбор оптимальных доз реагентов при эксплуатации мембранных установок для получения питьевой воды // Водоочистка. 2009. № 1–2. С. 16–21.
- 12 Li D., Meng L., Guo Y., Deng T. et al. Chemical engineering process simulation of brines using phase diagram and Pitzer model of the system  $\text{CaCl}_2\text{--SrCl}_2\text{--H}_2\text{O}$  // Fluid Phase Equilibria. 2019. № 484. P. 232–238. doi: 10.1016/j.fluid.2018.11.034
- 13 Нифталиев С.И., Плотникова С.Е., Богданова Т.В., Смольянинова В.С. и др. Влияние температуры на фазообразование в тройной системе  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\text{--H}_2\text{O--n-C}_3\text{H}_7\text{OH}$  // Конденсированные среды и межфазные границы. 2017. Т. 19. № 3. С. 395–399.
- 14 Плотникова С.Е., Перегудов Ю.С., Горбунова Е.М., Нифталиев С.И. Перспективы применения жидких отходов производства кальцинированной соды в качестве хладоносителя на основе тройной системы  $\text{CaCl}_2\text{--K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--H}_2\text{O}$  // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. №. 3. С. 233–238.
- 15 ГОСТ 18309–2014. Межгосударственный стандарт. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ. М.: Стандартинформ. 2014. 24 с.
- 16 Лидин Р.А. и др. Химические свойства неорганических веществ. М.: Химия, 2000. 480 с.
- 17 Киргинцев А.Н., Трушенкова Л.Н., Лаврентьева В.Г. Растворимость неорганических веществ в воде. Л.: Химия, 1972. 248 с.
- 18 Tsaturyan A., Arstamyan L., Sargsyan A., Saribekyan J. et al. Development of an efficient method for obtaining lactose and lactulose from whey // Pharmacia. 2023. V. 70. №. 4. P. 1039-1046.
- 19 Paladii I.V., Vrabie E.G., Sprinchan K.G., Bologa M.K. Whey: Review. Part 2. Treatment Processes and Methods // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2021. V. 57. P. 651-666.
- 20 Hourigan J.A., Lifran E.V., Vu L.T., Listiohadi Y. et al. Lactose: chemistry, processing, and utilization // Advances in dairy ingredients. 2013. P. 21-41.

## References

- 1 Semenova A.A. Nutritional and biological value of whey. Current research. 2023. no. 1 (131). pp. 10–12. Available at: <https://apni.ru/article/5312-pishchevaya-i-biologicheskaya-tsennost-moloch> (in Russian).
- 2 Belyakova T.N., Pechurkina. D.S. Functional products as a trend of the 21st century. Dairy industry. 2020. no. 2. pp. 46–47. (in Russian).
- 3 Rybalova T.I. Russian dairy industry in 2018. Dairy industry. 2019. no. 1. pp. 4–9. (in Russian).
- 4 Korotky I.A., Plotnikov I.B., Mazeeva I.A. Modern trends in whey processing. Equipment and technology of food production. 2019. vol. 49. no. 2. pp. 227–234. (in Russian).
- 5 Sienkiewicz T., Riedel K.–L. Whey, processing and use in the agro-industrial complex. M., Agropromizdat, 2020. 269 p. (in Russian).
- 6 Zolotareva M.S., Volodin D.N., Bessonov A.S. Electrodialysis is the most effective process for demineralization of whey. Dairy industry. 2014. no. 3. pp. 37–38. (in Russian).
- 7 Timkin V.A., Novopashin L.A. Production of whey concentrate using baromembrane methods. Scientific and technical bulletin technical systems in the agro-industrial complex. 2019. no. 3(3). pp. 91–98. (in Russian).
- 8 Roman A., Wang J., Csanadi J., Partial demineralization and concentration of acid whey by nanofiltration combined with diafiltration. Desalination. 2009. vol. 241. pp. 288–295.
- 9 Kulenko V.G., Shevchuk V.B., Slavorova E.V., Dykalo N.Ya. et al. Method for processing whey. Patent RF, no. 2617940, 2017.
- 10 Khramtsov A.G. Whey innovations. St. Petersburg, Profession, 2016. 424 p. (in Russian).
- 11 Pervov A.G., Efremov R.V., Rudakova G.Ya. Forecast of performance indicators of nanofiltration membranes and selection of optimal doses of reagents during the operation of membrane installations for the production of drinking water. Vodoochistka. 2009. no. 1–2. pp. 16–21. (in Russian).

12 Li D., Meng L., Guo Y., Deng T. et al. Chemical engineering process simulation of brines using phase diagram and Pitzer model of the system  $\text{CaCl}_2\text{--SrCl}_2\text{--H}_2\text{O}$ . *Fluid Phase Equilibria*. 2019. no. 484. pp. 232–238. doi: 10.1016/j.fluid.2018.11.034

13 Niftaliev S.I., Plotnikova S.E., Bogdanova T.V., Smolyaninova V.S. and others. The influence of temperature on phase formation in the ternary system  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\text{--H}_2\text{O--n-C}_3\text{H}_7\text{OH}$ . *Condensed media and interphase boundaries*. 2017. vol. 19. no. 3. pp. 395–399. (in Russian).

14 Plotnikova S.E., Peregudov Yu.S., Gorbunova E.M., Niftaliev S.I. Prospects for the use of liquid waste from the production of soda ash as a coolant based on the ternary system  $\text{CaCl}_2\text{--K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--H}_2\text{O}$ . *Proceedings of VSUET*. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 233–238. (in Russian).

15 GOST 18309–2014. Interstate standard. Water. Methods for determining phosphorus-containing substances. M., Standardinform, 2014. 24 p. (in Russian).

16 Lidin R.A. and others. *Chemical properties of inorganic substances*. M., Chemistry, 2000. 480 p. (in Russian).

17 Kirgintsev A.N., Trushenkova L.N., Lavrentieva V.G. *Solubility of inorganic substances in water*. L., Chemistry, 1972. 248 p. (in Russian).

18 Tsaturyan A., Arstamyan L., Sargsyan A., Saribekyan J. et al. Development of an efficient method for obtaining lactose and lactulose from whey. *Pharmacia*. 2023. vol. 70. no. 4. pp. 1039–1046.

19 Paladii I.V., Vrabie E.G., Sprinchan K.G., Bologa M.K. Whey: Review. Part 2. Treatment Processes and Methods. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2021. vol. 57. pp. 651–666.

20 Hourigan J.A., Lifran E.V., Vu L.T., Listiohadhi Y. et al. Lactose: chemistry, processing, and utilization. *Advances in dairy ingredients*. 2013. pp. 21–41.

#### Сведения об авторах

**Светлана Е. Плотникова** к.х.н., доцент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, burkovasweta@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6331-554x>

**Елена М. Горбунова** д.х.н., профессор, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lobanova8686@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3550-0115>

**Сабухи И. Нифталиев** д.х.н., профессор, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, niftaliev@mail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

**Лилия В. Бочарова** студент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, hcn\_chr@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0006-9266-2651>

**Анастасия М. Лучко** студент, кафедра неорганической химии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, am.luchko@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0009-5197-4765>

#### 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 E. Plotnikova** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, burkovasweta@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6331-554x>

**Elena M. Gorbunova** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lobanova8686@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3550-0115>

**Sabukhi I. Niftaliev** Dr. Sci. (Chem.), professor, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, niftaliev@mail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7887-3061>

**Liliya V. Bocharova** student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, hcn\_chr@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0006-9266-2651>

**Anastasiya M. Luchko** student, inorganic chemistry and chemical technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, am.luchko@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0009-5197-4765>

#### 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 11/10/2023	После редакции 06/11/2023	Принята в печать 28/11/2023
Received 11/10/2023	Accepted in revised 06/11/2023	Accepted 28/11/2023

## Получение волластонита из цеолитсодержащей породы методом твердофазного синтеза

Кирилл А. Мишагин	<sup>1</sup>	<a href="mailto:mishagin_kirill@mail.ru">mishagin_kirill@mail.ru</a>	 0000-0002-8503-9312
Екатерина С. Ямалеева	<sup>2</sup>	<a href="mailto:curls888@yandex.ru">curls888@yandex.ru</a>	 0000-0002-5754-205X
Елена М. Готлиб	<sup>2</sup>	<a href="mailto:egotlib@yandex.ru">egotlib@yandex.ru</a>	 0000-0003-2318-7333
Алексей И. Хацринов	<sup>2</sup>	<a href="mailto:khatsrinovai@corp.knrtu.ru">khatsrinovai@corp.knrtu.ru</a>	 0000-0002-0623-1411





<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов НИЦ «Курчатовский институт», ул. Радио, 17, г. Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия

**Аннотация.** Татарско-Шатрашанское цеолитсодержащее месторождение, расположенное на юго-западе Республики Татарстан, содержит большое количество кальцита (10–50%) от общей массы породы, а также других минералов – цеолита, опал-кристобаллит-тридимита. Такой состав требует дорогостоящего процесса обогащения цеолита, существенно сказывающегося на стоимости конечного продукта. В работе предлагается применение цеолитсодержащей породы для синтеза кальциевых силикатов, в частности, волластонита. В качестве Са-содержащего исходного материала в данной работе были использованы кальцит – мука известняковая (доломитовая), в качестве кремнийсодержащего материала была использована цеолитсодержащая кремнистая порода Татарско-Шатрашанского месторождения, включающая в себя также и источник кальция, в виде кальцита (до 40%). Процесс твердофазного синтеза проводился в муфельной печи SNOL 1100/7,2 при температурах 900 и 1100 °С, подъем до заданной температуры осуществлялся со скоростью 5 °С/мин, выдержка составляла 3 часа. Исходные компоненты смешивали в стехиометрических соотношениях  $\text{CaO}:\text{SiO}_2=0,7-1,1$ . В работе применялся общепринятый метод идентификации продуктов синтеза – рентгенографический количественный анализ. Показано, что при соотношении  $\text{CaO}:\text{SiO}_2$  в пределах 0,8-0,9 и изотермической выдержки в течение 3 часов при температуре 1100 °С наблюдается наибольший выход волластонита – 67–79%. Морфологию кальциевого силиката изучали методом растровой электронной микроскопии. Полученный кальциевый силикат можно охарактеризовать как спеченный продукт с малым соотношением сторон, по своей форме, близкой к таблитчатым структурам. Волластонит такой формы может применяться в керамической промышленности, в качестве эффективной добавки, улучшающих сушильные характеристики керамических масс.

**Ключевые слова:** цеолит, доломит, волластонит, твердофазный синтез.

## Preparation of wollastonite from zeolite-containing rock by solid-phase synthesis

Kirill A. Mishagin	<sup>1</sup>	<a href="mailto:mishagin_kirill@mail.ru">mishagin_kirill@mail.ru</a>	 0000-0002-8503-9312
Ekaterina S. Yamaleeva	<sup>2</sup>	<a href="mailto:curls888@yandex.ru">curls888@yandex.ru</a>	 0000-0002-5754-205X
Elena M. Gotlib	<sup>2</sup>	<a href="mailto:egotlib@yandex.ru">egotlib@yandex.ru</a>	 0000-0003-2318-7333
Alexey I. Khatsrinov	<sup>2</sup>	<a href="mailto:khatsrinovai@corp.knrtu.ru">khatsrinovai@corp.knrtu.ru</a>	 0000-0002-0623-1411

<sup>1</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials NRC “Kurchatov Institute”, Radio str., 17, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> Kazan National Research Technological University, Karl Marx, 68, Kazan, 420015, Russia

**Abstract.** The Tatarsko-Shatrashan zeolite-containing deposit, located in the southwest of the Republic of Tatarstan, contains a large amount of calcite (10-50%) of the total mass of the rock, as well as other minerals – zeolite, opal-cristoballite-tridymite. Such a composition requires an expensive zeolite enrichment process, which significantly affects the cost of the final product. The work proposes the use of zeolite-containing rock for the synthesis of calcium silicates, in particular wollastonite. Calcite – limestone flour (dolomite) was used as a Ca-containing source material in this work; zeolite-containing siliceous rock of the Tatarsko-Shatrashan deposit was used as a silicon-containing material, which also includes a source of calcium in the form of calcite (up to 40%). The solid-phase synthesis process was carried out in a SNOL 1100/7.2 muffle furnace at temperatures of 900 and 1100 °C, raising to a given temperature was carried out at a rate of 5 °C/min, holding time was 3 hours. The starting components were mixed in stoichiometric ratios  $\text{CaO}:\text{SiO}_2=0.7-1.1$ . The work used a generally accepted method for identifying synthesis products – X-ray quantitative analysis. It has been shown that with a  $\text{CaO}:\text{SiO}_2$  ratio in the range of 0.8-0.9 and isothermal exposure for 3 hours at a temperature of 1100 °C, the highest yield of wollastonite is observed – 67-79%. The morphology of calcium silicate was studied using scanning electron microscopy. The resulting calcium silicate can be characterized as a low aspect ratio sintered product with a shape similar to tabular structures. Wollastonite of this form can be used in the ceramic industry as an effective additive that improves the drying characteristics of ceramic masses.

**Keywords:** zeolite, dolomite, wollastonite, solid-phase synthesis.

Для цитирования

Мишагин К.А., Ямалеева Е.С., Готлиб Е.М., Хацринов А.И. Получение волластонита из цеолитсодержащей породы методом твердофазного синтеза // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 145–151. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-145-151

For citation

Mishagin K.A., Yamaleeva E.S., Gotlib E.M., Khatstinov A.I. Preparation of wollastonite from zeolite-containing rock by solid-phase synthesis. Vestnik VGUI [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 145–151. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-145-151

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

## Введение

Цеолит, обладая рядом исключительных физико-химических свойств, нашел широкое применение во многих направлениях: как минеральная добавка в вяжущих, наполнителей полимерных материалов, осушке и очистке газов в газонефтяной сфере и, конечно же, как сорбент для природных и сточных вод [1–6]. Россия обладает значительными запасами месторождений, включающих в себя цеолитсодержащие минералы, однако лишь несколько из них пригодны для промышленной добычи.

Особый интерес представляет Татарско-Шатрашанское цеолитсодержащее месторождение, расположенное на юго-западе Республики Татарстан. Большое содержание кальцита, составляющего от 10 до 50% [7] от общей массы породы, а также других минералов требуют дорогостоящего процесса обогащения цеолита, существенно сказывающегося на стоимости конечного продукта. Актуальным в этом случае является поиск альтернативного применения Татарско-Шатрашанского цеолитсодержащего месторождения. Входящие в его состав цеолит, опал-кристобаллит-тридимит позволяют использовать его как фильтро-минерализационный материал [8–10], наполнитель, добавку и как источник аморфного кремнезема [11] для синтеза кальциевых силикатов, в частности, волластонита. Кальцит в таком случае выступать в роли полезного компонента, уменьшающего количество вносимых добавок.

Работы по использованию цеолита и кремнистых пород в качестве компонентов для синтеза кальциевых силикатов ведутся давно. Так авторы, в своей работе [12] использовали цеолиты и оксид кальция для получения тоберморита методом автоклавного гидротермального синтеза. Таким же методом был получен тоберморит ( $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{H}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) из карбонизированной опоки и известняка [13]. Альтернативным методом получения служит твердофазный синтез, который применяется для синтеза волластонита [14]. Сотрудникам университетов Università G. D'Annunzio (Италия) и Universitat de Barcelona (Испания), на основе диатомита и микрокальцита, удалось получить продукт с содержанием волластонита до 96% [15].

На выход волластонита, как основного продукта реакции, а также скорость силикатообразования влияют многочисленные факторы, как минералогический, гранулометрический состав смеси, мольное соотношение, химический состав, время и температура синтеза. Оптимальная температура, найденная различными авторами [16, 17],

приходится на диапазон 1045–1150 °C, а время синтеза в большинстве случаев составляет от 2 до 3 часов. Такое различие обусловлено разностью исходных компонентов, его физико-химическими свойствами, т. е. факторами, изложенными нами ранее.

Вышеописанные данные позволяют высказать предположение о возможности использования труднообогащаемых цеолитсодержащих пород в качестве перспективного сырья для синтеза кальциевых силикатов, в частности волластонита методом твердофазного синтеза. С учетом вышесказанного основной целью данного исследования являлась проверка возможности получения волластонита твердофазным методом с использованием Татарско-Шатрашанского месторождения цеолитсодержащей кремнистой породы.

## Материалы и методы

В качестве Са-содержащего исходного материала в данной работе были использованы кальцит – мука известняковая (доломитовая) ГОСТ 14050–93.

В качестве кремнийсодержащего материала была использована цеолитсодержащая кремнистая порода Татарско-Шатрашанского месторождения, включающая в себя также и источник кальция, в виде кальцита (до 40%). Характеристики исходных материалов были проанализированы нами в предыдущих исследованиях [18].

Исходные компоненты смешивали в стехиометрических соотношениях  $\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 0,7\text{--}1,1$ , ввиду устойчивости волластонита как продукта реакции при таких соотношениях. Полученную шихту, для эффективного смешивания и увеличения площади контакта между частицами, а также скорости реакции, подвергали совместному помолу в планетарной мельнице Fritsch Pulverisette 5/2 в течение 5 минут при 200 об/мин.

Процесс твердофазного синтеза проводился в муфельной печи SNOL 1100/7,2 при температурах 900 и 1100 °C, подъем до заданной температуры осуществлялся со скоростью 5 °C/мин, выдержка составляла 3 часа.

Исследования полученных образцов проводились в комплексной лаборатории «Нано-аналитика» ФГБОУ ВО КНИТУ и включали в себя следующие методы:

Для идентификации продуктов синтеза применялся метод рентгенографического количественного анализа с использованием многофункционального дифрактометра Rigaku SmartLab со следующими параметрами съёмки: угловой интервал  $2\theta$  3°–65°, шаг сканирования 0,02, экспозиция 1 секунда в точке.

Микрофотографии образцов с наибольшим содержанием волластонита были получены методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на Оже-электронный спектрометр JAMP-9510F с увеличением 250X, 500X, 1000X, 2500X, 5000X.

### Результаты и обсуждение

Анализ состава продуктов твердофазного синтеза методом рентгенографического количественного анализа (рисунки 1–2, таблицы 1–2) показал, что при температуре 900 °С процесс образования кальциевых силикатов (волластонита и ларнита) только начинается.

Действительно, полученные при этой температуре продукты, при всех соотношениях исходных компонентов, характеризуются большим содержанием непрореагировавшего оксида кальция и кремнезема, а содержание волластонита в них не достигает даже 50%.

На основании этого, можно сделать вывод о необходимости повышения температуры реакции, либо многократном увеличении времени изотермической выдержки. Последнее не всегда является экономически целесообразным.

Как можно заметить, при применении кальцита (таблица 1), выход волластонита больше, чем при использовании оксида кальция (таблица 2).

При использовании обоих типов кальцийсодержащих пород, более эффективным является соотношение исходных компонентов равным  $\text{CaO}:\text{SiO}_2$  0,8–0,9.

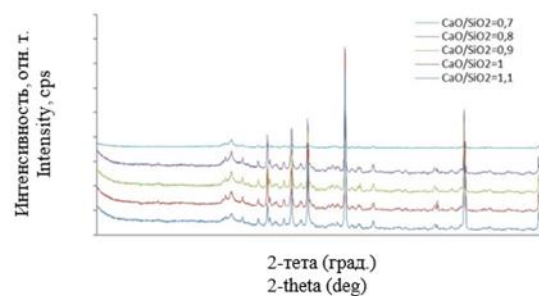


Рисунок 1. Дифрактограммы продуктов синтеза при 900 °С с применением цеолит-кремнистой породы и кальцита

Figure 1. Q-PXRD spectrum of synthesis products at 900 °C using zeolite-siliceous rock and calcite

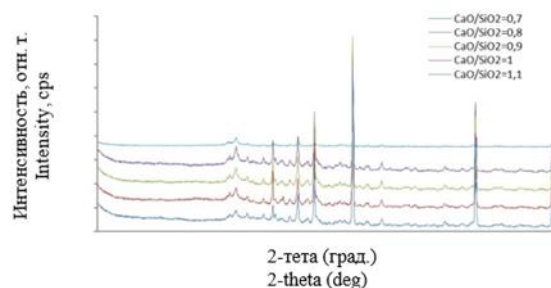


Рисунок 2. Дифрактограммы продуктов синтеза при 900 °С с применением цеолиткремнистой породы и оксида кальция

Figure 2. Q-PXRD spectrum of synthesis products at 900 °C using zeolite-silicon rock and calcium oxide

Таблица 1.

Фазовый состав продуктов синтеза при 900 °С  
с применением цеолит-кремнистой породы и кальцита

Table 1.

Phase composition of synthesis products at 900 °C using zeolite-siliceous rock and calcite

CaO: SiO <sub>2</sub>	Фазовый состав, %   Phase composition %					
	Волластонит   Wollastonite	Ларнит   larnite	Оксид кальция   Calcium oxide	Кварц   Quartz	Кристаллит   Cristobalite	Тридимит   Tridymite
0,7	26	2	35	11	12	15
0,8	48	4	34	8	7	-
0,9	45	2	42	8	-	2
1	35	1	49	13	-	2
1,1	31	3	48	7	-	11

Таблица 2.

Фазовый состав продуктов синтеза при 900 °С  
с применением цеолит-кремнистой породы и оксида кальция

Table 2.

Phase composition of synthesis products at 900 °C using zeolite-siliceous rock and calcium oxide

CaO: SiO <sub>2</sub>	Фазовый состав, %   Phase composition %					
	Волластонит   Wollastonite	Ларнит   larnite	Оксид кальция   Calcium oxide	Кварц   Quartz	Кристаллит   Cristobalite	Тридимит   Tridymite
0,7	29	1	25	19	17	8
0,8	29	5	39	10	11	6
0,9	31	11	39	9	-	10
1,0	21	15	41	13	7	1
1,1	32	5	51	7	-	5

Результаты обжига исходных смесей при более высокой температуре (1100 °C) свидетельствуют о более полном протекании процессов образования кальциевых силикатов, выход целевого продукта достигает почти 80% (рисунки 3–4, и таблицы 3–4). Наибольшее содержание волластонита в продуктах реакции обеспечивается при молярном соотношении

CaO:SiO<sub>2</sub> равным 0,8–0,9. То есть, оптимальное соотношение исходных компонентов не зависит от температуры изотермической выдержки при твердофазном синтезе волластонита. Однако, состав исходной смеси (применение кальцита или оксида кальция) меньше влияет на выход волластонита при более высокой температуре синтеза.

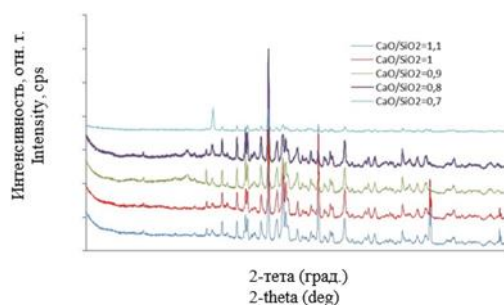


Рисунок 3. Дифрактограммы продуктов синтеза при 1100 °C с применением цеолит-кремнистой породы и кальцита

Figure 3. Q-PXRD spectrum of synthesis products at 1100 °C using zeolite-siliceous rock and calcite

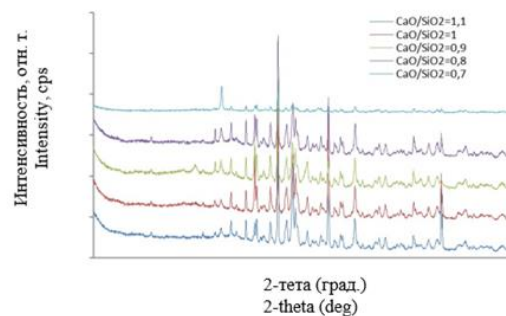


Рисунок 4. Дифрактограммы продуктов синтеза при 1100 °C с применением цеолит-кремнистой породы и оксида кальция

Figure 4. Q-PXRD spectrum of synthesis products at 1100 °C using zeolite-siliceous rock and calcium oxide

При соотношении CaO: SiO<sub>2</sub> ≥ 1 достигается достаточно большое содержание целевого продукта, но в то же время наблюдается высокое содержание непрореагировавшего оксида кальция, среди всех исследованных образцов, при обоих изученных температурах синтеза.

Количество двукальциевого силиката и непрореагировавших оксидов свидетельствует о возможности поиска оптимальных параметров синтеза с увеличением температуры либо продолжительности процесса силикатообразования.

Стоит отметить, что больший выход волластонита при температуре синтеза 1100 °C имеет место при применении в качестве одного из исходных компонентов оксида кальция, а при температуре 900 °C – кальцита.

Образцы, с наибольшим выходом волластонита, полученные при соотношении CaO:SiO<sub>2</sub> = 0,7, были исследованы при помощи ОЖЭ-спектро-скопии (рисунки 5–6).

Фазовый состав продуктов синтеза при 1100 °C с применением цеолит-кремнистой породы и кальцита

Таблица 3.

Table 3.

Phase composition of synthesis products at 1100 °C using zeolite-siliceous rock and calcite

CaO: SiO <sub>2</sub>	Фазовый состав, %   Phase composition %					
	Волластонит   Wollastonite	Ларнит   larnite	Оксид кальция   Calcium oxide	Кварц   Quartz	Кристаллит   Cristobalite	Тридимит   Tridymite
0,7	56	10	3	4	26	1
0,8	75	15	2	5	3	-
0,9	67	22	1	5	-	-
1,0	58	26	11	5	-	-
1,1	59	16	22	3	-	-

Фазовый состав продуктов синтеза при 1100 °C с применением цеолит-кремнистой породы и оксида кальция

Таблица 4.

Table 4.

Phase composition of synthesis products at 1100 °C using zeolite-siliceous rock and calcium oxide

CaO: SiO <sub>2</sub>	Фазовый состав, %   Phase composition %					
	Волластонит   Wollastonite	Ларнит   larnite	Оксид кальция   Calcium oxide	Кварц   Quartz	Кристаллит   Cristobalite	Тридимит   Tridymite
0,7	50	9	7	4	25	5
0,8	79	6	7	6	2	-
0,9	68	27	1	3	-	-
1,0	53	25	10	8	2	2
1,1	61	16	19	4	-	-

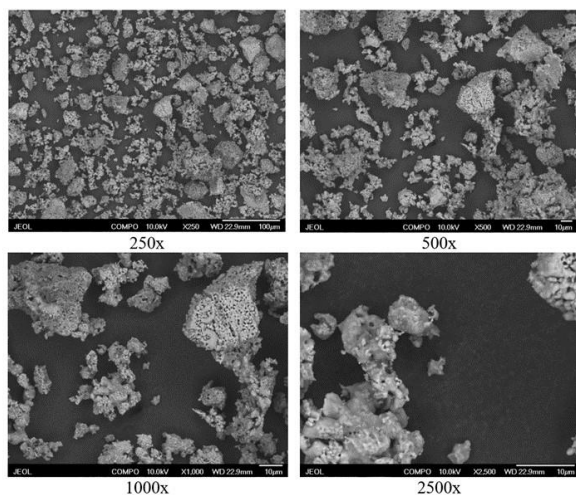


Рисунок 5. Микрофотографии продуктов синтеза при 1100 °С на основе цеолит-кремнистой породы и кальцита

Figure 5. Microphotographs of synthesis products at 1100 °C based on zeolite-siliceous rock and calcite

Представленные фото, позволяют характеризовать морфологию кальциевого силиката, как спеченный продукт с малым соотношением сторон, по своей форме, близкой к таблитчатым структурам. Волластонит такой формы может применяться [19, 20] в керамической промышленности, в качестве эффективной добавки, улучшающих сушильные характеристики керамических масс.

### Заключение

Обобщая литературные и собственные экспериментальные данные по твердофазному синтезу  $\text{CaSiO}_3$  можно сделать заключение о перспективности применения цеолит-кремнистой

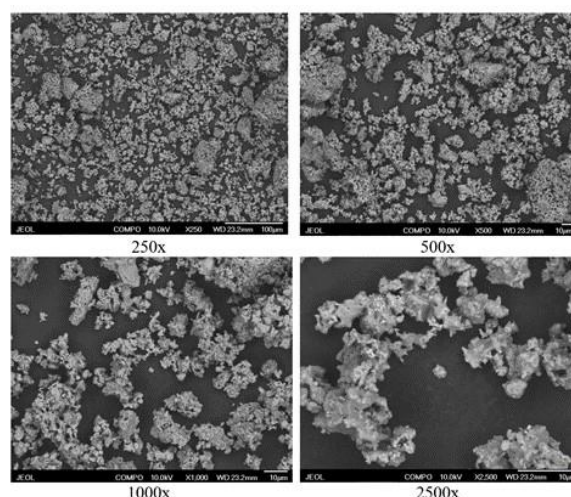


Рисунок 6. Микрофотографии продуктов синтеза при 1100 °С на основе цеолит-кремнистой породы и оксида кальция

Figure 6. Microphotographs of synthesis products at 1100 °C based on zeolite-siliceous rock and calcium oxide

карбонатной породы Татарско–Шатрашанского месторождения в качестве сырья для производства кальциевых силикатов. Показано, что при соотношении  $\text{CaO} : \text{SiO}_2$  в пределах 0,8–0,9 и изотермической выдержки в течение 3 часов при температуре 1100 °С наблюдается наибольший выход волластонита. Применение оксида кальция при вышеописанных условиях дает незначительно больший выход целевого продукта, но в то же время требует дополнительных затрат, заключающихся в предварительном обжиге кальцита при температурах 900–1000 °С. Это, с технико-экономической точки зрения, по-видимому, является не целесообразным.

### Литература

- 1 Айметдинов Р.Р., Макарова И.А., Бузаева М.В. Сорбционные методы в системах очистки природных вод // Наставничество и экология: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных, преподавателей, приуроченной к IX Ежегодному молодежному фестивалю в области устойчивого развития ВУЗЭКОФЕСТ. Ульяновск, 2023. С. 123–125.
- 2 Burakov A., Galunin E., Burakova I., Kucherova A. et al. Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2018. V. 148. P. 702-712. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.11.034
- 3 Javed M., Cheng S., Zhang G., Dai P. et al. Complete encapsulation of zeolite supported Co based core with silicalite-1 shell to achieve high gasoline selectivity in Fischer-Tropsch synthesis // Fuel. 2018. V. 215. P. 226-231. doi: 10.1016/j.fuel.2017.10.042
- 4 Matiur R., Asif H. Green synthesis, properties, and catalytic application of zeolite (P) in production of biofuels from bagasse // International Journal of Energy Research. 2019. № 6. P. 1-8. doi: 10.1002/er.4628
- 5 Fanta F.T., Dubale A.A., Bebizuh D.F., Atlabachew M. Copper doped zeolite composite for antimicrobial activity and heavy metal removal from waste water // BMC Chemistry. 2019. V. 13. P. 1-12. doi: 10.1186/s13065-019-0563-1
- 6 Tran Y.T., Lee J., Kumar P., Kim K.-H. et al. Natural zeolite and its application in concrete composite production // Composites Part B. 2019. V. 165. P. 354-364. doi: 10.1016/j.compositesb.2018.12.084
- 7 Исламова Р.Р., Яковлева Г.Ю., Тюрин А.Н., Ильинская О.Н. и др. Цеолиты Татарско-Шатрашанского месторождения как носители модельного альбумина для перспективной адсорбции терапевтических белков // Записки Российского минералогического общества. 2022. № 1. С. 105–113.
- 8 Кулагина Е.М., Громова Е.Ю., Юсупова Р.И., Багаутдинов Ф.Ф. и др. Исследование адсорбционной способности цеолитов Татарско-Шатрашанского месторождения, применяемых в качестве гетерофункциональных сорбентов для получения органоминерального удобрения // Вестник Казанского технологического университета. 2019. № 7. С. 56–60.


- 9 Skleničková K., Koloušek D., Pečenka M., Vejmelková D. et al. Application of zeolite filters in fish breeding recirculation systems and their effect on nitrifying bacteria // *Aquaculture*. 2020. V. 516. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734605
- 10 Irannajad M., Kamran Haghighi H. Removal of heavy metals from polluted solutions by zeolitic adsorbents: a review // *Environmental Processes*. 2021. V. 8. P. 7-35. doi: 10.1007/s40710-020-00476-x
- 11 Mishagin K., Gotlib E., Yamaleeva E., Sokolova A. et al. Comparison of the Properties of Calcium Silicates Derived from Different Raw Materials // *E3S Web of Conferences*. 2023. V. 410. P. 01001. doi: 10.1051/e3sconf/202341001001
- 12 Skawińska A., Owsiański Z. Wpływ zeolitu syntetycznego na syntezę tobermorytu Effect of synthetic zeolite on tobermorite synthesis // *Cement Wapno Beton*. 2022. V. 27. № 5. P. 320–329. doi: 10.32047/CWB.2022.27.5.2
- 13 Smalakys G., Siauciunas R. The synthesis of 1.13 nm tobermorite from carbonated opoka // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2018. V. 134. P. 493–502. doi: 10.1007/s10973-018-7418-1
- 14 Попов Р.Ю., Дятлова Е.М., Самсонова А.С., Шиманская А.М. Синтез волластонитсодержащей керамики на основе природного сырья республики Беларусь // *Стекло и керамика*. 2023. № 4. С. 12–21.
- 15 Novembre D., Pace C., Gimeno D. Synthesis and characterization of wollastonite-2M by using a diatomite precursor // *Mineralogical Magazine*. 2018. V. 82. № 1. P. 95–110. doi: 10.1180/minmag.2017.081.025
- 16 y González-Barros M.R., García-Ten J., Alonso-Jiménez A. Synthesis of wollastonite from diatomite-rich marls and its potential ceramic uses // *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 2023. V. 61. № 6. P.585–594. doi: 10.1016/j.bsecv.2021.05.002
- 17 Güler S., Yavaş A., Pulat G., Özcan Ş. et al. Green 3-step synthesis of bioactive wollastonite from industrial wastes: effects of sintering temperature, sintering time and milling time // *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2023. V. 59. P. 605–620. doi: 10.1007/s41779-023-00860-4
- 18 Мишагин К.А., Ямалеева Е.С., Готлиб Е.М., Хацринов А.И. Изучение влияния кислотной активации на сорбционные характеристики цеолит содержащей кремнистой породы // *Вестник технологического университета*. 2022. Т. 25. № 6. С. 73–81.
- 19 Шичалин О.О., Тарабанова А.Е., Папынов Е.К., Федорец А.Н. и др. Гибридный микроволновой твердофазный синтез волластонита на основе природного возобновляемого сырья // *Журнал неорганической химии*. 2022. Т. 67. № 9. С. 1266–1273.
- 20 Muhammad A.A.H., Hasmaliza M., Zalita Z., Hamisah I. Comparative study on the physicochemical, bioactivity, and biocompatibility properties of  $\beta$ -wollastonite and  $\beta$ -wollastonite/maghemite/strontium composites // *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2023. V. 59. P. 449-458. doi: 10.1007/s41779-023-00855-1


## References


- 1 Aymetdinov R.R., Makarova I.A., Buzaeva M.V. Sorption methods in natural water purification systems. Mentoring and ecology: collection of scientific papers of the International scientific and practical conference of students, graduate students, young scientists, teachers, dedicated to the IX Annual youth festival in the field of sustainable development VUZEKOFEST. Ulyanovsk, 2023. pp. 123–125. (in Russian).
- 2 Burakov A., Galunin E., Burakova I., Kucherova A. et al. Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. vol. 148. pp. 702-712. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.11.034
- 3 Javed M., Cheng S., Zhang G., Dai P. et al. Complete encapsulation of zeolite supported Co based core with silicalite-1 shell to achieve high gasoline selectivity in Fischer-Tropsch synthesis. *Fuel*. 2018. vol. 215. pp. 226-231. doi: 10.1016/j.fuel.2017.10.042
- 4 Matiur R., Asif H. Green synthesis, properties, and catalytic application of zeolite (P) in production of biofuels from bagasse. *International Journal of Energy Research*. 2019. no. 6. pp. 1-8. doi: 10.1002/er.4628
- 5 Fanta F.T., Dubale A.A., Bebizuh D.F., Atlabachew M. Copper doped zeolite composite for antimicrobial activity and heavy metal removal from waste water. *BMC Chemistry*. 2019. vol. 13. pp. 1-12. doi: 10.1186/s13065-019-0563-1
- 6 Tran Y.T., Lee J., Kumar P., Kim K.-H. et al. Natural zeolite and its application in concrete composite production. *Composites Part B*. 2019. vol. 165. pp. 354-364. doi: 10.1016/j.compositesb.2018.12.084
- 7 Islamova R.R., Yakovleva G.Yu., Tyurin A.N., Ilyinskaya O.N. et al. Zeolites of the Tatarsko-Shatrashan deposit as carriers of model albumin for promising adsorption of therapeutic proteins. *Notes of the Russian Mineralogical Society*. 2022. no. 1. pp. 105–113. (in Russian).
- 8 Kulagina E.M., Gromova E.Yu., Yusupova R.I., Bagautdinov F.F. and others. Study of the adsorption capacity of zeolites of the Tatarsko-Shatrashan deposit, used as heterofunctional sorbents for the production of organomineral fertilizers. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2019. no. 7. pp. 56–60. (in Russian).
- 9 Skleničková K., Koloušek D., Pečenka M., Vejmelková D. et al. Application of zeolite filters in fish breeding recirculation systems and their effect on nitrifying bacteria. *Aquaculture*. 2020. vol. 516. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.734605
- 10 Irannajad M., Kamran Haghighi H. Removal of heavy metals from polluted solutions by zeolitic adsorbents: a review. *Environmental Processes*. 2021. vol. 8. pp. 7-35. doi: 10.1007/s40710-020-00476-x
- 11 Mishagin K., Gotlib E., Yamaleeva E., Sokolova A. et al. Comparison of the Properties of Calcium Silicates Derived from Different Raw Materials. *E3S Web of Conferences*. 2023. vol. 410. pp. 01001. doi: 10.1051/e3sconf/202341001001
- 12 Skawińska A., Owsiański Z. Wpływ zeolitu syntetycznego na syntezę tobermorytu Effect of synthetic zeolite on tobermorite synthesis. *Cement Wapno Beton*. 2022. vol. 27. no. 5. pp. 320–329. doi: 10.32047/CWB.2022.27.5.2
- 13 Smalakys G., Siauciunas R. The synthesis of 1.13 nm tobermorite from carbonated opoka. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2018. vol. 134. pp. 493–502. doi: 10.1007/s10973-018-7418-1


- 14 Popov R.Yu., Dyatlova E.M., Samsonova A.S., Shimanskaya A.M. Synthesis of wollastonite-containing ceramics based on natural raw materials of the Republic of Belarus. *Glass and Ceramics*. 2023. no. 4. pp. 12–21. (in Russian).
- 15 Novembre D., Pace C., Gimeno D. Synthesis and characterization of wollastonite 2M by using a diatomite precursor. *Mineralogical Magazine*. 2018. vol. 82. no. 1. pp. 95–110. doi: 10.1180/minmag.2017.081.025
- 16 y González-Barros M.R., García-Ten J., Alonso-Jiménez A. Synthesis of wollastonite from diatomite-rich marls and its potential ceramic uses. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 2023. vol. 61. no. 6. pp. 585–594. doi: 10.1016/j.bsecv.2021.05.002
- 17 Güler S., Yavaş A., Pulat G., Özcan Ş. et al. Green 3 step synthesis of bioactive wollastonite from industrial wastes: effects of sintering temperature, sintering time and milling time. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2023. vol. 59. pp. 605–620. doi: 10.1007/s41779-023-00860-4
- 18 Mishagin K.A., Yamaleeva E.S., Gottlieb E.M., Khatsrinov A.I. Study of the influence of acid activation on the sorption characteristics of zeolite-containing siliceous rock. *Bulletin of the Technological University*. 2022. vol. 25. no. 6. pp. 73–81. (in Russian).
- 19 Shichalin O.O., Tarabanova A.E., Papynov E.K., Fedorets A.N. et al. Hybrid microwave solid-phase synthesis of wollastonite based on natural renewable raw materials. *Journal of Inorganic Chemistry*. 2022. vol. 67. no. 9. pp. 1266–1273. (in Russian).
- 20 Muhammad A.A.H., Hasmaliza M., Zalita Z., Hamisah I. Comparative study on the physicochemical, bioactivity, and biocompatibility properties of  $\beta$ -wollastonite and  $\beta$ -wollastonite/maghemite/strontium composites. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2023. vol. 59. pp. 449–458. doi: 10.1007/s41779-023-00855-1

## Сведения об авторах

**Кирилл А. Мишагин** инженер 1 категории, лаборатория 620, Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов НИЦ «Курчатовский институт», Радио, 17, г. Москва, 105005, Россия, mishagin\_kirill@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-8503-9312>

**Екатерина С. Ямалева** к.т.н., доцент, кафедра медицинской инженерии, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68 Казань, 420015, Россия, curls888@yandex.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-5754-205X>

**Елена М. Готлиб** д.т.н., профессор, кафедра Технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, egotlib@yandex.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-2318-7333>

**Алексей И. Хацринов** д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, Технологии неорганических веществ и материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, khatsrinovai@corp.knrtu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-0623-1411>


## 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

**Kirill A. Mishagin** 1st category engineer, laboratory 620, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials NRC “Kurchatov Institute”, Radio str., 17 Moscow, 105005, Russia, mishagin\_kirill@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-8503-9312>

**Ekaterina S. Yamaleeva** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, medical engineering department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx Av., 68 Kazan, 420015, Russia, curls888@yandex.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-5754-205X>

**Elena M. Gotlib** Dr. Sci. (Engin.), professor, synthetic rubber technology department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx Av., 68 Kazan, 420015, Russia, egotlib@yandex.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-2318-7333>

**Alexey I. Khatsrinov** Dr. Sci. (Engin.), head of department, technology of inorganic substances and materials department, Kazan National Research Technological University, Karl Marx Av., 68 Kazan, 420015, Russia, khatsrinovai@corp.knrtu.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-0623-1411>

## 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 12/10/2023	После редакции 02/11/2023	Принята в печать 28/11/2023
Received 12/10/2023	Accepted in revised 02/11/2023	Accepted 28/11/2023

## Сравнение химической стойкости титана, тантала и платины в солянокислых окислительных средах в автоклаве




Александр А. Акименко	<sup>1</sup>	<a href="mailto:aakimenko@krastsvetmet.ru">aakimenko@krastsvetmet.ru</a>	 0000-0003-3661-949X
Олег В. Белоусов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ov_bel@icct.ru">ov_bel@icct.ru</a>	 0000-0001-7778-5393
Роман В. Борисов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:roma_boris@list.ru">roma_boris@list.ru</a>	 0000-0002-6137-0975

<sup>1</sup> Институт химии и химической технологии – обособленное учреждение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

**Аннотация.** В современной гидрометаллургии процессы автоклавного выщелачивания находят широкое применение, что связано с рядом преимуществ перед процессами, протекающими в открытых системах. В аффинажной отрасли страны внедрение таких технологий затруднительно, и одна из причин – высокие требования к коррозионной устойчивости конструкционных материалов. В настоящей работе исследовано поведение металлических пластин тантала, титана и платины в растворах соляной кислоты с добавками пероксида водорода в автоклавных условиях, в температурном диапазоне 100–200 °С. Показано, что удельная скорость растворения платины в автоклавных условиях на несколько порядков выше скоростей растворения титана и тантала в аналогичных условиях. Так, при температуре 130 °С платиновая пластина полностью растворяется в течение 2 часов, что соответствует удельной скорости растворения  $1500 \cdot 10^{-12} \text{ г} \cdot \text{м}^2/\text{сек}$ ; скорость растворения титана и тантала в тех же условиях составила  $40 \cdot 10^{-12}$  и менее  $1 \cdot 10^{-12} \text{ г} \cdot \text{м}^2/\text{сек}$ , соответственно. Создание окислительных условий способствует пассивации тантала и, в значительной степени, титана. Платина, наоборот, в окислительных условиях интенсивно переходит в раствор. С учетом того, что в большинстве случаев сырье МПГ представляет собой дисперсные порошки с высокой удельной поверхностью, титановое оборудование может быть рекомендовано к их переработке. Установлено, что титан достаточно стабилен в присутствии окислителя в растворах 3М соляной кислоты до температуры 160 °С. Тантал в солянокислых окислительных средах стабилен до температуры 200 °С. Полученные в работе количественные данные могут быть использованы для разработки технологий переработки сырья, содержащего металлы платиновой группы, и создания соответствующего оборудования.

**Ключевые слова:** автоклав, благородные металлы, титан, тантал, скорость растворения.

## Comparison of chemical firmness of the titanium, tantalum and platinum in muriatic oxidizing environments in the autoclave

Alexander A. Akimenko	<sup>1</sup>	<a href="mailto:aakimenko@krastsvetmet.ru">aakimenko@krastsvetmet.ru</a>	 0000-0003-3661-949X
Oleg V. Belousov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:ov_bel@icct.ru">ov_bel@icct.ru</a>	 0000-0001-7778-5393
Roman V. Borisov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:roma_boris@list.ru">roma_boris@list.ru</a>	 0000-0002-6137-0975

<sup>1</sup> Institute of Chemistry and Chemical Technology - a separate institution of the Federal Research Center of the National Research Center SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

**Abstract.** In modern hydrometallurgy, autoclave leaching processes are widely used, which is associated with a number of their advantages over processes occurring in open systems. In the Russian refining industry, the introduction of such technologies is difficult, and one of the reasons is the high requirements for the corrosion resistance of structural materials. In this work, the behavior of metal plates of tantalum, titanium and platinum in solutions of hydrochloric acid with additions of hydrogen peroxide under autoclave conditions was studied in the temperature range of 100–200°C. It has been shown that the specific dissolution rate of platinum under autoclave conditions is several orders of magnitude higher than the dissolution rates of titanium and tantalum under similar conditions. Thus, at a temperature of 130°C, a platinum plate dissolves completely within 2 hours, which corresponds to a specific dissolution rate of  $1500 \cdot 10^{-12} \text{ g m}^2/\text{s}$ ; the dissolution rate of titanium and tantalum under the same conditions was  $40 \cdot 10^{-12}$  and less than  $1 \cdot 10^{-12} \text{ g m}^2/\text{s}$ , respectively. The creation of oxidizing conditions promotes the passivation of tantalum and, to a large extent, titanium. Platinum, on the contrary, under oxidizing conditions intensively goes into solution. Taking into account the fact that in most cases PGM raw materials are dispersed powders with a high specific surface area, titanium equipment can be recommended for their processing. It has been established that titanium is quite stable in the presence of an oxidizing agent in solutions of 3 M hydrochloric acid up to a temperature of 160°C. Tantalum in hydrochloric acid oxidizing environments is stable up to a temperature of 200°C. The quantitative data obtained in the work can be used to develop technologies for processing raw materials containing platinum group metals and to create corresponding equipment.

**Keywords:** autoclave, precious metals, titanium, tantalum, dissolution rate.

### Для цитирования

Акименко А.А., Белоусов О.В., Борисов Р. В. Сравнение химической стойкости титана, тантала и платины в солянокислых окислительных средах в автоклаве // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 152–158. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-152-158

### For citation

Akimenko A.A., Belousov O.V., Borisov R.V. Comparison of chemical firmness of the titanium, tantalum and platinum in muriatic oxidizing environments in the autoclave. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 152–158. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-152-158

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

## Введение

На сегодняшний день автоклавные процессы получили широкое распространение в различных отраслях горной и металлургической промышленности в России и за рубежом. В частности, оборудование, работающее при избыточном давлении, активно применяется при переработке алюминиевого, цинкового, никелевого сырья, упорных золотосодержащих руд [1–6]. Использование автоклавов обусловлено рядом преимуществ таких технологий перед технологическими решениями, которые опираются на методы ведения процессов в открытых системах. Применительно к методам вскрытия и растворения упорных материалов, автоклавные технологии характеризуются экологической безопасностью, эффективным использованием реагентов, возможностью интенсификации протекающих процессов.

В настоящее время в аффинажной отрасли, как правило, используются многостадийные, длительные по времени и энергозатратные технологии получения металлов платиновой группы. Отдельно следует отметить широкое применение небезопасных реагентов, таких как хлор, азотная кислота, что в свою очередь, предопределяет повышенные требования к промышленной и экологической безопасности. В то же время спрос на металлы платиновой группы возрастает, а ограниченность источников их добычи и высокая стоимость создают благоприятную экономическую основу и стимул к разработке эффективных процессов их переработки. Помимо первичных источников МПГ, постоянно увеличивается доля перерабатываемых вторичных материалов, характеризующихся сложным химическим составом и высокой степенью упорности [7–13].

Несмотря на указанные преимущества, автоклавные технологии слабо внедрены в аффинажную отрасль Российской Федерации. Это связано с необходимостью проведения процессов в растворах минеральных кислот высокой концентрации и в присутствии сильных окислителей, при температурах, превышающих температуру кипения растворителя. В подобных условиях выдвигаются чрезвычайно высокие требования к коррозионной стойкости конструкционных материалов [14, 15]. Поэтому весьма важной при реализации данных процессов является задача подбора химически стойкого материала для изготовления автоклавного оборудования, предназначенного для проведения высокотемпературного кислородного выщелачивания МПГ в солянокислых средах.

Танталовые материалы используются в химической промышленности уже более 60 лет и продолжают оставаться важными конструкционными материалами. Тантал считается наиболее подходящим материалом для химической промышленности благодаря своей превосходной коррозионной устойчивости, которая обусловлена наличием пассивирующей пленки оксида тантала(V) на поверхности [16]. Однако, применение тантала ограничено высокой стоимостью. Титан, на сегодняшний день, является наиболее распространенным конструкционным материалом, в аффинажной отрасли России. Он обладает удовлетворительной стойкостью к коррозии в различных окислительных средах и достаточно устойчив к механическому износу. Однако, в литературных источниках недостаточно полно отражены сведения о коррозионной устойчивости титана и тантала в условиях автоклавного вскрытия в солянокислых растворах, при одновременном присутствии окислителей и пассивирующих добавок при температурах более 100 °С [15].

Цель настоящей работы заключалась в сравнении скоростей растворения конструкционных материалов титана, тантала и платиновой пластины в автоклавах в растворах соляной кислоты в присутствии избыточного давления кислорода при температурах свыше 100 °С.

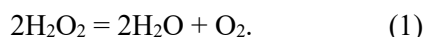
## Материалы и методы

В настоящей работе использовали: воду дистиллированную (ГОСТ Р 58144–2018); HCl – «ос. ч. 20–4» (ГОСТ 14261–77); H<sub>2</sub> O<sub>2</sub> (ГОСТ 177–88); пластины платины (ГСО 11082–2018–11085–2018) толщиной 0,1 мм (доля платины не менее 99,9 мас.%), пластины титана марки ВТ1–0 толщиной 1 мм; пластины тантала марки ТВЧ толщиной 0,2 мм.

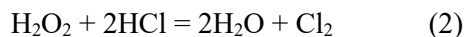
Электронно-микроскопический анализ проводили на сканирующем электронном микроскопе ТМ4000 (Hitachi, Япония) с системой микроанализа Quantax 70 (Bruker, Германия). Рентгеновские дифрактограммы регистрировали в диапазоне углов 2θ от 30° до 90° с шагом 0,02° на настольном дифрактометре Proto AXRD (Proto Manufacturing, Канада) с использованием CuKα-излучения с накоплением в точке 2 с.

Эксперименты по растворению металлических пластин осуществляли в кварцевых автоклавах объемом от 20 до 30 см<sup>3</sup>, конструкция которых описана в работах [17–20]. В кварцевый автоклав помещали пластину металла, заливали 10 мл раствора соляной кислоты, вводили 0,5 мл пероксида водорода. Ввиду того, что конструкцией реактора не предусмотрен ввод газообразных веществ, то использовали способ ввода кислорода

в результате выделения газообразного продукта в результате химической реакции:



В растворах соляной кислоты при повышенных температурах, возможно образование хлора:



Кварцевый реактор закрывали фторопластовой крышкой, фиксировали в титановом кожухе. Автоклав нагревали в термостате до заданной температуры при постоянном перемешивании в вертикальной плоскости. В ходе экспериментов наблюдали изменение окраски раствора. По истечении заданного времени автоклав доставали и охлаждали проточной водой. Пластины отделяли от раствора, многократно промывали дистиллированной водой, высушивали и взвешивали. Концентрации металлов в растворах определяли методами атомно-абсорбционной спектроскопии – «AAnalyst-400» (PerkinElmer, США)

и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой – ICP-MS 7500a (Agilent, США).

## Результаты

### 1. Химическая стойкость тантала

Устойчивость тантала исследовали при температурах 160 и 200 °С, в растворах соляной кислоты с концентрацией 3 и 6 моль/л в присутствии пероксида водорода и без него (таблица 1). Установлено, что вне зависимости от условий, убыль массы пластины не превышала 0.2%. Анализ растворов показал незначительное наличие тантала в растворах после контакта с 6М HCl, соответствующие доле перевода в раствор на уровне 0.03–0.07 процентов. Таким образом, помимо растворения, фиксируемое изменение массы танталовой пластинки в соляной кислоте может быть связано с её механическим истиранием, происходящим в результате трения пластинки с внутренней поверхностью кварцевого реактора при перемешивании содержимого автоклава.

Таблица 1.

Некоторые количественные данные по растворимости тантала

Table 1.

Some quantitative data on tantalum solubility

Условия   Conditions	T, °C	t, ч t, h	Доля перевода в раствор α, % Proportion of transfer to solution	U растворения (г×м <sup>2</sup> /сек) U dissolution (g×m <sup>2</sup> /sek)
3М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	160	6	<0.02	< 1×10 <sup>-12</sup>
3М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	200	6	<0.02	< 1×10 <sup>-12</sup>
6М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	200	20	0.09	8×10 <sup>-12</sup>
6М HCl, 0 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	200	20	0.05	5×10 <sup>-12</sup>

Электронно-микроскопические исследования исходной пластины тантала и обработанной в автоклавных условиях (200 °С, 30 часов, 6М HCl, 1 мл H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) показали незначительные изменения текстуры (рисунок 1). При этом,

состав пластины, согласно рентгеноспектральному анализу, существенно не изменился. Можно отменить лишь незначительное увеличение доли кислорода, что может свидетельствовать об образовании оксидной пленки.

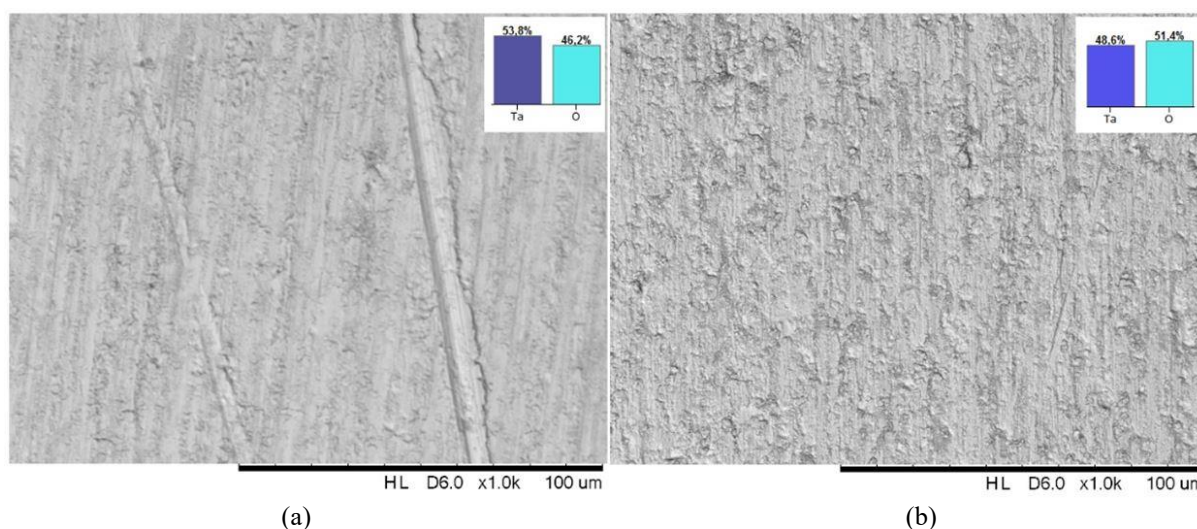


Рисунок 1. СЭМ-изображение пластины Ta: (a) – исходной, (b) – после обработки при 200 °С в растворе 6М HCl, 30 часов

Figure 1. SEM image of plates Ta: (a) – initial, (b) – after treatment at 200 °C in 6M HCl solution, 30 hours

## 2. Химическая стойкость титана

Титан в растворах соляной кислоты титан обладает ограниченной стойкостью, хотя он более стоек по сравнению с нержавеющей стали. С увеличением концентрации соляной кислоты скорость растворения титановой пластинки в соляной кислоте резко возрастает. Поэтому без избыточного давления кислорода эксперименты с титаном не проводили. При концентрации соляной кислоты до 3М и температуре до 160 °С при избыточном давлении кислорода в автоклаве титановая пластина достаточно устойчива – растворимость составила

менее 0.1% за 6 часов. При концентрации соляной кислоты 6М в присутствие окислителя в системе даже при температуре 120 °С визуально наблюдается изменение поверхности пластины. Увеличение температуры до 160 °С приводит к существенному разрушению пластинки с образованием белого осадка, не растворимого в соляной кислоте. Рентгенофазовым анализом (рисунок 2) установлено, что данный осадок представляет собой смесь оксида титана с оксихлоридами титана.

Таблица 2.

Некоторые количественные данные по растворимости титана

Table 2.

Some quantitative data on titanium ration

Условия   Conditions	T, °C	t, ч t, h	Доля перевода в раствор α, % Proportion of transfer to solution	U растворения (г×м <sup>2</sup> /сек) U dissolution (г×м <sup>2</sup> /s)
1М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	120	6	<0.01	-
1М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	160	6	0.018	5×10 <sup>-12</sup>
1М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	200	6	0.043	11×10 <sup>-12</sup>
2М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	120	6	0.009	3×10 <sup>-12</sup>
2М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	160	6	0.051	14×10 <sup>-12</sup>
2М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	200	6	0.078	21×10 <sup>-12</sup>
3М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	120	6	0.035	9×10 <sup>-12</sup>
3М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	160	6	0.084	23×10 <sup>-12</sup>
3М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	200	6	0.145	39×10 <sup>-12</sup>
6М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	110	4	0.102	40×10 <sup>-12</sup>
6М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	120	4	0.281	105×10 <sup>-12</sup>
6М HCl, 1 мл H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	160	0.5	> 1% *	-

\*Пластина покрыта белым осадком

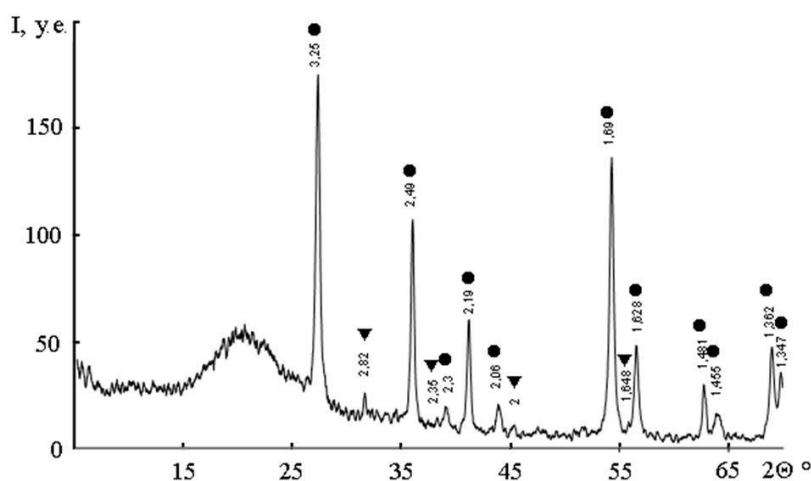


Рисунок 2. Фрагмент дифрактограммы нерастворимого осадка, образующегося в результате контакта Ti пластинки с 6М HCl при 120 °С: ● – рутил (TiO<sub>2</sub>, d = 3,25; 2,49; 1,69 Å, JCPDS, 21–1276); ▼ – гидрат хлорида титана (TiCl<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O, d = 2,82; 2,35; 2,00 Å, JCPDS, 17–343)

Figure 2. Fragment of diffractogram of insoluble precipitate resulting from contact of Ti plate with HCl 6M at 120 °C: ● – rutile (TiO<sub>2</sub>, d = 3,25; 2,49; 1,69 Å, JCPDS, 21–1276); ▼ – titanium chloride hydrate (TiCl<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O, d = 2,82; 2,35; 2,00 Å, JCPDS, 17–343)

Электронно-микроскопические исследования исходной пластины титана и обработанной в автоклавных условиях (120 °С, 4 часа, 6М HCl + 1 мл H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) показали существенное изменение поверхностной морфологии (рисунок 3). Согласно

рентгеноспектральному анализу, доля кислорода на пластине уменьшается, что может указывать на отсутствие оксидной пленки и обнажение поверхности титана.

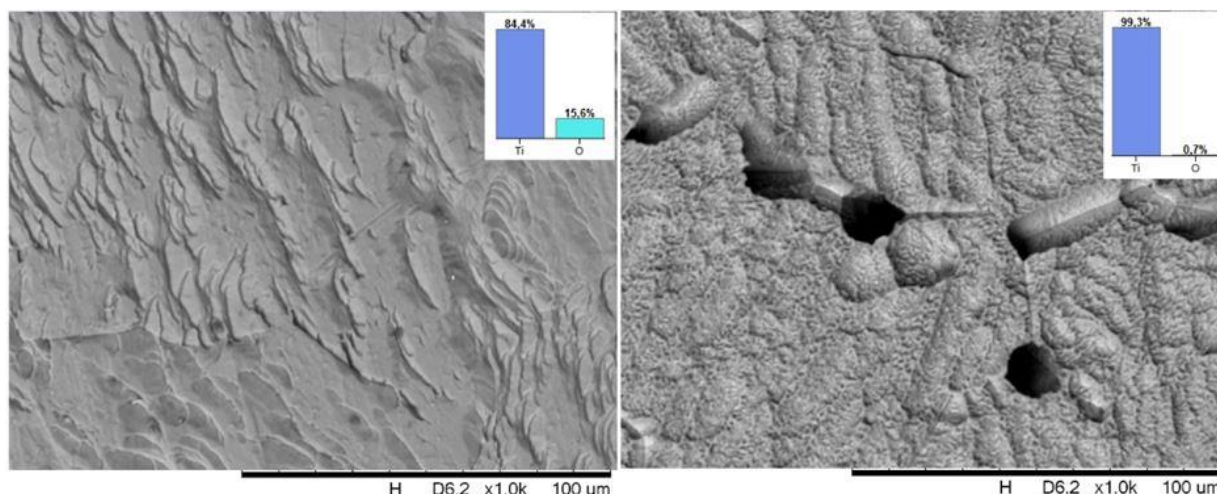


Рисунок 3. СЭМ-изображение пластинки Ti: а – исходной, б – после обработки при 120 °С в растворе 6М HCl + 1мл H<sub>2</sub> O<sub>2</sub>, 4 часа

Figure 3. SEM image of Ti plate: a – initial, b – after treatment at 120° C in a solution of 6M HCl + 1 ml of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 4 hours

### 3. Параметры растворения платины

Процессы окисления металлической платины в растворах соляной кислоты в присутствии окислителя термодинамически разрешены (таблица 3). В случае использования пероксида водорода уравнение процесса может быть записано следующим образом:

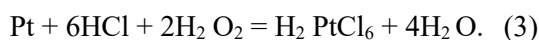


Таблица 3.

Термодинамические характеристики реакции (3)

Table 3.

Thermodynamic reaction characteristics (3)

Температура, К Temperature, K	$\Delta H^0$ , кДж $\Delta H^0$ , kJ	$\Delta S^0$ , Дж/(моль·К) $\Delta S^0$ , J/(mol K)	$\Delta G^0$ , кДж $\Delta G^0$ , kJ
300	-374,5	86,4	-400,4

Платина и палладий является наименее инертными по сравнению с редкими платиновыми металлами. Однако для достижения количественного растворения платиновой пластинки в открытой системе в смеси соляной и азотной кислот необходимы продолжительное время и нагрев. В автоклаве платиновая пластинка быстро растворяется даже при  $t = 100$  °С (рисунок 4). Так в растворе 6М соляной кислоты с добавкой пероксида водорода за 4 часа в раствор переходит около 86% платины. При увеличении температуры до 130 °С для количественного растворения достаточно около 120 мин.

На основании полученных данных была рассчитана скорость растворения платины на единицу площади:  $700 \times 10^{-12}$  и  $1500 \times 10^{-12}$  г×м<sup>2</sup>/сек для температур 100 и 130 °С соответственно.

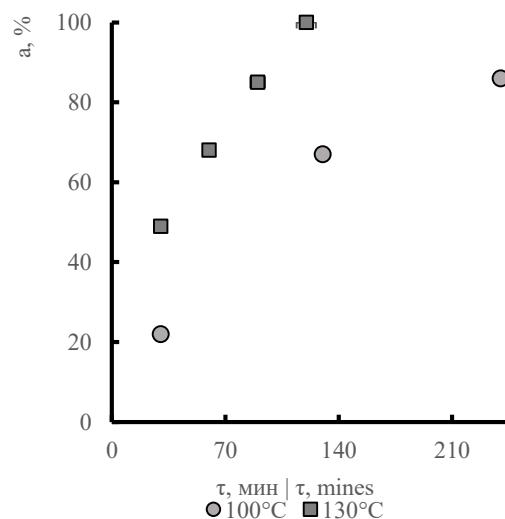


Рисунок 4. Зависимость степени растворения платиновой пластинки в среде 6М HCl + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> от времени

Figure 4. Dissolution ratio of platinum plate in 6M HCl + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> medium versus time

### Заключение

В данной работе были определены количественные параметры химической стойкости металлических пластин тантала, титана и платины. Показано, что удельная скорость растворения платины в автоклавных условиях на несколько порядков выше скоростей растворения титана и тантала в аналогичных условиях. Учитывая то, что в большинстве случаев, сырье МПГ представляет собой дисперсные порошки с высокой удельной поверхностью, то титановое оборудование может рекомендовано к их переработке.

Установлено, что титан достаточно стабилен в присутствии окислителя в растворах 3М соляной кислоты до температуры 160 °С. Тантал в солянокислых окислительных средах стабилен до температуры 200 °С.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (проект FWES-2021–0014) с использованием оборудования Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН

### Литература

- 1 Roux J.O., du Toit M., Shklaz D. Novel redesign of a pressure leach autoclave by a South African platinum producer // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2009. V. 109. №. 11. P. 677–683.
- 2 Gok O., Anderson C.G., Cicekli G., Cocen E.L. Leaching kinetics of copper from chalcopyrite concentrate in nitrous-sulfuric acid // Physicochemical Problems of Mineral Processing. 2014. V. 50. №. 1. P. 399–413.
- 3 Zinoviev V.A., Kalashnikova M.I., Lisakov Yu.N., Pelikh Yu.M. Testing of new corrosion-resistant materials and alloys for autoclave processes // Tsvetnye Metally. 2015. №. 7. P. 68–73. doi: 10.17580/tsm.2015.07.12
- 4 Mpinga C.N., Eksteen J.J., Aldrich C., Dyer L. Direct leach approaches to Platinum Group Metal (PGM) ores and concentrates: A review. Minerals Engineering. 2015. V. 78. P. 93–113.
- 5 Adams M.D. Summary of gold plants and processes // Gold Ore Processing. Elsevier, 2016. P. 961–984.
- 6 Bobozoda S., Boboev I.R., Strizhko L.S. Gold and copper recovery from flotation concentrates of Tarror deposit by autoclave leaching. Journal of Mining Science. 2017. V. 53. №. 2. P. 352–357.
- 7 Saguru C., Ndlovu S., Moropeng D. A review of recent studies into hydrometallurgical methods for recovering PGMs from used catalytic converters // Hydrometallurgy. 2018. №. 182. P. 44–56.
- 8 Islam A., Ahmed T., Awual M.R., Rahman A. et al. Advances in sustainable approaches to recover metals from e-waste-A review // J. Clean. Product. 2020. V. 244. P. 118815. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118815
- 9 Salman K., Yen-Peng T. Recycling pathways for platinum group metals from spent automotive catalyst: A review on conventional approaches and bio-processes // Resources, Conserv., Recycl. 2021. V. 170. P. 105558. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105558
- 10 Padamata S.K., Yasinskiy A.S., Polyakov P.V., Pavlov E.A. et al. Recovery of noble metals from spent catalysts: A review // Metall. Mater. Trans. B. 2020. V. 51. №. 5. P. 2413–2435. doi: 10.1007/s11663-020-01913-w
- 11 Oraby E.A., Li H., Eksteen J.J. An alkaline glycine-based leach process of base and precious metals from powdered waste printed circuit boards // Waste Biomass Valoriz. 2020. V. 11. №. 8. P. 3897–3909. doi: 10.1007/s12649-019-00780-0
- 12 Batnasan A., Haga K., Shibayama A. Recovery of precious and base metals from waste printed circuit boards using a sequential leaching procedure // JOM. 2018. V. 70. №. 2. P. 124–128. doi: 10.1007/s11837-017-2694-y
- 13 Ding Y., Zhang S., Liu B., Zheng H. et al. Recovery of precious metals from electronic waste and spent catalysts: A review // Resources, Conserv., Recycl. 2019. V. 141. P. 284–298. doi: 10.1016/j.resconrec.2018.10.041
- 14 Карпов А.Г., Шубенкина Н.Н., Шнайдер А. Проблемы эксплуатации автоклавов и выбор конструкционных материалов для изготовления оборудования автоклавных производств // Экспозиция Нефть Газ. 2012. №. 2 (20). С. 5–7.
- 15 Акименко А.А., Белоусов О.В., Борисов Р.В., Грабчак. Э.Ф. Исследование химической устойчивости титана в модельных солянокислых растворах аффинажного производства // Цветные металлы. № 9. 2021. С. 46–52.
- 16 Bishop C.R. Corrosion tests at elevated temperatures and pressures // Corrosion. 1963. V. 19. №. 9. P. 308–314.
- 17 Белоусов О.В., Белоусова Н.В., Рюмин А.И., Борисов Р.В. Переработка платино-палладиевого концентрата в гидротермальных условиях // Журнал прикладной химии. 2015. № 6. С. 1078–1081.
- 18 Belousova N.V., Belousov O.V., Borisov R.V. Dissolution of metallic iridium powders in hydrochloric acid oxidizing media // Tsvetnye Metally. 2022. № 8:40–45. doi: 10.17580/tsm.2022.08.05
- 19 Belousova N.V., Belousov O.V., Borisov R.V., Grizan N.V. Specific Features of Dissolution of Metallic Rhodium in Acid Oxidative Media under Hydrothermal Conditions // Russian Journal of Applied Chemistry. 2019. V. 92. №. 8. P. 1102–1106. doi: 10.1134/S107042721908007X
- 20 Belousova N.V., Belousov O.V., Borisov R.V., Akimenko A.A. Autoclave dissolution of platinum metals in hydrochloric acid oxidizing media // Russian journal of non-ferrous metals. 2021. № 5. P. 50–57


### References

- 1 Roux J.O., du Toit M., Shklaz D. Novel redesign of a pressure leach autoclave by a South African platinum producer. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2009. vol. 109. no. 11. pp. 677–683.
- 2 Gok O., Anderson C.G., Cicekli G., Cocen E.L. Leaching kinetics of copper from chalcopyrite concentrate in nitrous-sulfuric acid. Physicochemical Problems of Mineral Processing. 2014. vol. 50. no. 1. pp. 399–413.
- 3 Zinoviev V.A., Kalashnikova M.I., Lisakov Yu.N., Pelikh Yu.M. Testing of new corrosion-resistant materials and alloys for autoclave processes. Tsvetnye Metally. 2015. no. 7. pp. 68–73. doi: 10.17580/tsm.2015.07.12
- 4 Mpinga C.N., Eksteen J.J., Aldrich C., Dyer L. Direct leach approaches to Platinum Group Metal (PGM) ores and concentrates: A review. Minerals Engineering. 2015. vol. 78. pp. 93–113.
- 5 Adams M.D. Summary of gold plants and processes. Gold Ore Processing. Elsevier, 2016. pp. 961–984.
- 6 Bobozoda S., Boboev I.R., Strizhko L.S. Gold and copper recovery from flotation concentrates of Tarror deposit by autoclave leaching. Journal of Mining Science. 2017. vol. 53. no. 2. pp. 352–357.
- 7 Saguru C., Ndlovu S., Moropeng D. A review of recent studies into hydrometallurgical methods for recovering PGMs from used catalytic converters. Hydrometallurgy. 2018. no. 182. pp. 44–56.
- 8 Islam A., Ahmed T., Awual M.R., Rahman A. et al. Advances in sustainable approaches to recover metals from e-waste-A review. J. Clean. Product. 2020. vol. 244. pp. 118815. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118815


- 9 Salman K., Yen-Peng T. Recycling pathways for platinum group metals from spent automotive catalyst: A review on conventional approaches and bio-processes. *Resources, Conserv., Recycl.* 2021. vol. 170. pp. 105558. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105588
- 10 Padamata S.K., Yasinskiy A.S., Polyakov P.V., Pavlov E.A. et al. Recovery of noble metals from spent catalysts: A review. *Metall. Mater. Trans. B.* 2020. vol. 51. no. 5. pp. 2413–2435. doi: 10.1007/s11663-020-01913-w
- 11 Oraby E.A., Li H., Eksteen J.J. An alkaline glycine-based leach process of base and precious metals from powdered waste printed circuit boards. *Waste Biomass Valoriz.* 2020. vol. 11. no. 8. pp. 3897–3909. doi: 10.1007/s12649-019-00780-0
- 12 Batnasan A., Haga K., Shibayama A. Recovery of precious and base metals from waste printed circuit boards using a sequential leaching procedure. *JOM.* 2018. vol. 70. no. 2. pp. 124–128. doi: 10.1007/s11837-017-2694-y
- 13 Ding Y., Zhang S., Liu B., Zheng H. et al. Recovery of precious metals from electronic waste and spent catalysts: A review. *Resources, Conserv., Recycl.* 2019. vol. 141. pp. 284–298. doi: 10.1016/j.resconrec.2018.10.041
- 14 Karpov A.G., Shubenkina N.N., Schneider A. Problems of autoclave operation and selection of structural materials for production of autoclave production equipment. *Exposition Oil Gas.* 2012. no. 2 (20). pp. 5–7. (in Russian).
- 15 Akimenko A.A., Belousov O.V., Borisov R.V., Grabchak E.F. Study of chemical stability of titanium in model hydrochloric acid solutions of refining production. *Non-ferrous metals.* 2021. no. 9. pp. 46–52. (in Russian).
- 16 Bishop C.R. Corrosion tests at elevated temperatures and pressures. *Corrosion.* 1963. vol. 19. no. 9. pp. 308–314.
- 17 Belousov O.V., Belousova N.V., Ryumin A.I., Borisov R.V. Processing of platinum-palladium concentrate under hydrothermal conditions. *Journal of Applied Chemistry.* 2015. no. 6. pp. 1078–108. (in Russian).
- 18 Belousova N.V., Belousov O.V., Borisov R.V. Dissolution of metallic iridium powders in hydrochloric acid oxidizing media. *Tsvetnye Metally.* 2022. no. 8:40–45. doi: 10.17580/tsm.2022.08.05
- 19 Belousova N.V., Belousov O.V., Borisov R.V., Grizan N.V. Specific Features of Dissolution of Metallic Rhodium in Acid Oxidative Media under Hydrothermal Conditions. *Russian Journal of Applied Chemistry.* 2019. vol. 92. no. 8. pp. 1102–1106. doi: 10.1134/S107042721908007X
- 20 Belousova N.V., Belousov O.V., Borisov R.V., Akimenko A.A. Autoclave dissolution of platinum metals in hydrochloric acid oxidizing media. *Russian journal of non-ferrous metals.* 2021. no. 5. pp. 50–57.

**Сведения об авторах**


**Александр А. Акименко** аспирант, лаборатория гидрометаллургических процессов, Институт химии и химической технологии – обособленное учреждение ФИЦ КНЦ СО РАН, Академгородок, 50/24, Красноярск, 660036, Россия, aakimenko@krastsvetmet.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3661-949X>

**Олег В. Белоусов** д.х.н., профессор, лаборатория гидрометаллургических процессов, Институт химии и химической технологии – обособленное учреждение ФИЦ КНЦ СО РАН, Академгородок, 50/24, Красноярск, 660036, Россия, ov\_bel@icct.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7778-5393>

**Роман В. Борисов** к.х.н., научный сотрудник, лаборатория гидрометаллургических процессов, Институт химии и химической технологии – обособленное учреждение ФИЦ КНЦ СО РАН, Академгородок, 50/24, Красноярск, 660036, Россия, roma\_boris@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6137-0975>

**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**


**Alexander A. Akimenko** graduate student, laboratory of hydrometallurgical processes, Institute of Chemistry and Chemical Technology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademgorodok, 50/24, Krasnoyarsk, 660036, Russia, aakimenko@krastsvetmet.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3661-949X>

**Oleg V. Belousov** Dr. Sci. (Chem.), professor, laboratory of hydrometallurgical processes, Institute of Chemistry and Chemical Technology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademgorodok, 50/24, Krasnoyarsk, 660036, Russia, ov\_bel@icct.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7778-5393>

**Roman V. Borisov** Cand. Sci. (Chem.), researcher, laboratory of hydrometallurgical processes, Institute of Chemistry and Chemical Technology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademgorodok, 50/24, Krasnoyarsk, 660036, Russia, roma\_boris@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6137-0975>

**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> 13/10/2023	<b>После редакции</b> 31/10/2023	<b>Принята в печать</b> 20/11/2023
<b>Received</b> 13/10/2023	<b>Accepted in revised</b> 31/10/2023	<b>Accepted</b> 20/11/2023

## Требования к оформлению материалов для журнала «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий»

Редакция просит авторов в подготовке рукописей руководствоваться изложенными ниже правилами. Рукописи, оформленные без соблюдения данных правил, редакцией рассматриваться не будут.

### ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РУКОПИСЕЙ И ЗАЯВЛЕНИЕ НА РАССМОТРЕНИЕ

Представление рукописи в журнал «ВЕСТНИК ВГУИТ» для печати предполагает, что:

- 1) описанная в ней работа ранее не была опубликована;

- 2) она не рассматривается для публикации в ином издательстве;

- 3) ее публикация была одобрена всеми авторами и так или иначе взаимосвязанными организациями, в которых эта работа проводилась;

- 4) в случае принятия к публикации эта статья не будет опубликована где-либо еще в той же форме, на английском или на любом другом языке, в том числе и в электронном виде.

Представление статьи проводят через официальный сайт издания путем прохождения регистрации (<http://www.vestnik-vsu.ru/vguit/user/register>).

В состав электронной версии статьи должны входить:

1. Рукопись статьи оформленная строго в шаблоне редакции в формате Word 2007–2016. Word 2003 – **НЕ Принимается**
2. табличный материал в виде отдельного файла (**только при условии** когда объем одной таблицы превышает полную страницу журнальной статьи)
3. иллюстрации в **исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества)** предпочтение, при этом отдается векторным форматам: **eps, svg, ai, pdf**, растровый формат изображений (с сжатием): форматы **png, jpeg и пр.** не прикреплять. Минимальное разрешение рисунков и графиков **600 dpi**. Это требование необходимо для повышения типографского качества печатной версии издания.

Если авторов несколько, то необходимо указать автора, которому будет адресована корреспонденция, и его контактные данные: адрес, номер телефона/факса, а также адреса электронной почты всех авторов.

**ВНИМАНИЕ:** Авторы несут полную ответственность за достоверность и оригинальность информации, предоставленной в рукописи. Все рукописи проходят проверку на наличие заимствований в системе «Антиплагиат». Оригинальность рукописи должна быть не менее 80%, в противном случае рукопись будет возвращена без права опубликования. При обнаружении нарушения авторских прав или плагиата будет проведена ретракция опубликованных статей в соответствии с правилами COPE.

### ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ

Статьи в журнале «ВЕСТНИК ВГУИТ» издаются на русском языке с реферат на английском языке. По согласованию с редакцией допускается публикация статьи и на английском языке.

Вся статья (текст, таблицы, примечания, заголовки, иностранные вставки, список литературы, 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 (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):

Румянцев 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:

Лапидус Л.В. Центр компетенций цифровой экономики. Ассоциация граждан и организаций по содействию развитию корпоративного образования. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

## ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ:

### СТАТЬЯ ИЗ ЖУРНАЛА:

#### порядок описания:

Фамилия И.О. автора (транслитерация). Перевод названия статьи на английский. Перевод названия источника на английский язык. Год, том, номер, страницы (от-до). Указание на язык статьи (in Russian) после описания статьи.

#### пример:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

### СТАТЬЯ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Plyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

### СТАТЬЯ ИЗ ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/>

### СТАТЬЯ ИЗ ПРОДОЛЖАЮЩЕГОСЯ ИЗДАНИЯ (СБОРНИКА ТРУДОВ):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

### МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

### КНИГИ (МОНОГРАФИИ, СБОРНИКИ):

(кол-во авторов от 1 до 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Antipova L.V., Storablevtsev 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 [vestnikvgt@mail.ru](mailto:vestnikvgt@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).